

تصميم وتشغيل
نظم الري المزرعي

الجزء الثاني

تحرير

جلين ج. هوفمان | روبرت ج. إيفانز
مارفن إ. جنسن | ديريل ل. مارتن
رونالد ل. إيليوت

ترجمة

أ. د. عبد الرحمن علي العذبه | د. محمد نبيل النسر
قسم الهندسة الزراعية - كلية علوم الأغذية والزراعة - جامعة الملك سعود



النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود
ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

هذه ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:
Design and Operation of Farm Irrigation Systems
By: Glenn J. Hoffman, Robert G. Evans, Marvin E. Jensen, Derrel L. Martin, Ronald L. Elliott

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

ج. هوفمان، جلين.

تصميم وتشغيل نظم الري المزرعي / جلين ج. هوفمان؛ عبد الرحمن علي العذبه؛ محمد نبيل النسر - الرياض، ١٤٣٣هـ.

٢مج.

٨١٧ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٤ - ٠٢٩ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨ (مجموعة)

٩٧٨-٦٠٣-٥٠٧-٠٣١-٧ (ج٢)

١- هندسة الري ٢- الهندسة الزراعية أ. العذبه، عبدالرحمن علي(مترجم) ب. النسر، محمد نبيل (مترجم) ج. العنوان

ديوي ٦٣١,٥٨٧ ١٤٣٣/٥٦٥٢

رقم الإيداع: ١٤٣٣/٥٦٥٢

ردمك: ٤ - ٠٢٩ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨ (مجموعة)

٩٧٨-٦٠٣-٥٠٧-٠٣١-٧ (ج٢)

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره في اجتماعه الثاني عشر للعام الدراسي ١٤٣٢/١٤٣٣هـ، المعقود بتاريخ ١٤٣٣/٣/٣٠هـ، الموافق ٢٠١٢/٢/١٢م.



النشر العلمي والمطابع ١٤٣٣هـ

إهداء المترجمين

نهدي هذا العمل المتواضع

إلى خير الأنام

وإلى خير الأمم

المترجمان

شكر وتقدير

يود المترجمان تقديم جزيل الشكر إلى كل من ساندهم في إتمام هذا العمل، كما يعربان عن خالص الشكر والتقدير للمهندس محمد سيد عبدالمجيد المعيد بقسم الهندسة الزراعية على جهوده المضنية التي بذلها في نسخ الكتاب وتنسيقه على الحاسب الآلي وإخراجه بالصورة المشرفة، فله منا أجمل الثناء وأثمن العطاء.

المترجمان

مقدمة المترجمين

يعاني الوطن العربي من عجز في مصادره المائية لوقوعه ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة، علاوة على الاستنزاف الجائر لمياهه المتاحة نتيجة الممارسات الخاطئة في تطبيقاته وغياب وسوء إدارته، أضف إلى ذلك السلب الذي يتعرض له هذا المصدر الحيوي أو جزء منه من بعض الدول المجاورة دون مراعاة القوانين الدولية أو حسن الجوار مما زاد من مشاكل شح المياه. لذا أصبح لزاماً علينا كأمة بكافة شرائحها الاجتماعية والمهنية والزراعية العمل على ترشيد استخدام المياه خاصة في المجال الزراعي واتباع كافة الوسائل والتقنيات الحديثة لتحقيق هذه الغايات.

وبما أن العالم اليوم سريع التطور في كافة العلوم، خاصة في المجالات العلمية التطبيقية والتقنية، كل ذلك يزيد من حاجتنا إلى نقل هذه العلوم وترجمتها إلى لغتنا العربية بسرعة متناسقة مع سرعة تقدم العالم من حولنا. لقد اهتم العديد من الأساتذة الأكاديميين والباحثين بترجمة الكتب العلمية والتطبيقية ونقلها من لغاتها الأم إلى العربية إدراكاً منهم بأهمية إيصال المعرفة من مواردها، للاستفادة من خبرات الآخرين الذين استغلوا كافة الإمكانيات المتاحة في تطوير العلوم التطبيقية، خاصة الهندسية ذات العلاقة بمجال الزراعة والري، وذلك من أجل تطويع وتوطين التقنيات الحديثة بما يتلاءم مع بيئتنا المحلية.

وترجمة هذا الكتاب ما هي إلا ثمرة جهد متواضع ليصب في أحد روافد المعرفة، وليساهم مع إنجازات الآخرين التي سبقته في توفير الأسس العلمية والتطبيقية والهندسية المتخصصة في تصميم نظم الري، ولتعم فائدته على كافة القطاعات المهتمة بالزراعة من أجل استغلال كل قطرة ماء متاحة في استثمار الأراضي الزراعية، وذلك باتباع كافة الوسائل والمبتكرات الحديثة والعمل على تطويرها. وهذا الكتاب يحتوي أيضاً على معلومات علمية أساسية تكميلية ترتبط بهندسة الري وإدارته.

وإذ نقدم هذا الكتاب المترجم للمكتبة العربية نأمل أن يمثل إضافة مهمة في هذه المسيرة، ونسأل الله أن ينفع به الجميع.

المترجمان

مقدمة المحررين

لعبت الزراعة المروية دوراً هاماً في إنتاج الغذاء عبر القرن الماضي، وسوف تصبح أكثر أهمية في ظل استمرار تزايد الكثافة السكانية العالمية. وقد سارع الإنترنت من انتشار تقنيات الري الحديثة والطرق الإرشادية لإدارة المياه التي طورها الخبراء المتخصصون. وقد عملت أجهزة الحاسب الآلي الشخصية على تسهيل الحسابات المعقدة والتحكم في نظم الري الآلية. ومع ذلك، لا تزال هناك حاجة لمصممي نظم الري ومن مشغلي النظم أن يكون لديهم كتاب شامل حول نظم الري في المزارع وأن يكون متاحاً لهم بيسر. وقد تم نشر هذه الدراسة بشكل موسع منذ أن تمت طباعتها لأول مرة عام ١٩٨٠ وعند إعادة طباعتها عام ١٩٨٢. ومن المتوقع أن تقوم هذه الطبعة الثانية بتلبية الحاجة الهامة لعدة عقود في المستقبل.

نشر هذا الكتاب يتوج عقدًا من الجهد. وقد بدأ التخطيط للطبعة الثانية لأول مرة عام ١٩٩٤ عندما اجتمع فريق من الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين بشكل غير رسمي لمناقشة الحاجة إلى نسخة محدثة من كتاب الري الأولى. وقد شرع رونالد إيليوت ومارفن جنسن في العمليات التنظيمية والتحريرية. وقد تم توجيه طلب إلى الخبراء الكبار كل في مجاله للقيام بكتابة الفصول المختلفة. وفي عام ٢٠٠٠، بسبب مهمة إيليوت الجديدة التي حددت وقته المخصص لهذا العمل ولأن وقت جنسن كان محدوداً بسبب اشتراكه في العديد من دراسات استخدام المياه، تأجل العمل في هذه الطبعة. وفي عام

٢٠٠٢ ، قامت مجموعة SW-24 برئاسة روبرت إيفانز بتشكيل لجنة تحرير جديدة مكونة من جلين هوفمان، وروبرت إيفانز، وجاري كلارك، وديريل مارتن للمشاركة في حمل هذه المهمة الضخمة. وقد اجتمعت اللجنة في دنفر في نوفمبر ٢٠٠٢ ، لاستعراض وضع الفصول التي تم تنقيحها، ولإضافة فصول جديدة، وتحديد مواعيد مستهدفة جديدة، ولعرض المهام. وقد أوضح إيليوت أنه لا يرغب في الاستمرار بدور نشط. وفي أغسطس من عام ٢٠٠٥ ، تبوأ جاري كلاك منصباً جديداً ولم يعد لديه وقت للاستمرار في العمل كمحرر. وقد تم إعادة توزيع عبء العمل على إيفانز، وهوفما، وجنسن، ومارتن.

تقدم هذه الطبعة أحدث التقنيات في نظم الري السطحي، ونظم الري بالرش، ونظم الري الموضعي إلى جانب المعلومات الأساسية عن أنواع التربة والمعلومات الحديثة عن تقدير الاحتياجات المائية للمحصول. وقد تم إضافة فصول جديدة لنظام التخطيط، والقضايا البيئية، والكفاءة والانتظامية، والري الكيميائي، واستخدام مياه الصرف للري.

وكما هو الحال في كل دراسات الجمعية الأمريكية للمهندسين البيولوجيين والزراعيين ASABE، فإن الجمعية مدينة لكثير من الأفراد الذين ساهموا بشكل كبير في تخطيط، وكتابة، ومراجعة، وتحرير، ونشر هذا الكتاب. فمشاركتهم بمعرفتهم ووقتهم وصبرهم لإنتاج هذا الكتاب أمر له عظيم التقدير. وكل المحررين ممتنون للغاية لإتاحة الفرصة لهم للعمل مع هذا العدد الكبير من المهندسين والعلماء المتخصصين المخلصين والمتحمسين لإكمال هذا المشروع. ومساعدة فريق عمل ASABE، وبوجه خاص بيج ما كين، في تحرير وإخراج هذه الدراسة أمر له تقدير خاص.

المحررون

جلين ج. هوفمان — روبرت ج. إيفانز

مارفن إ. جنسن — ديريل ل. مارتن

دونالد ل. إيليوت

المؤلفون

Richard G. Allen, University of Idaho Research and Extension Center, 3793 North 3600 East, Kimberly, ID 8334.

James E. Ayars, USDA-ARS Water Management Research Laboratory, 9611 South Riverbend Ave., Parlier, CA 93648.

Evan W. Christen, CSIRO Land and Water, Griffith, New South Wales 2680, Australia Allan W. Clark, Clark Brothers, Inc., 19772 South Elgin, Dos Palos, CA 93620.

Albert J. Clemmens, USDA-ARS Arid-Land Agricultural Research Center, 21881 North Cardon Lane, Maricopa, AZ 8523.

Allen R. Dedrick, USDA-ARS National Program Staff, Beltsville, MD (retired). Current address: 608 West Villa Rita Dr., Phoenix, AZ 85023.

Harold R. Duke, USDA-ARS Water Management Research, Fort Collins, CO (retired). Current address: 1047 Greenfield Court, Fort Collins, CO 80524.

Keith O. Eggleston, Water Quality, U.S. Bureau of Reclamation, Denver Federal Center, P.O. Box 25007 (D-5724), Denver, CO 80225 (retired).

Dean E. Eisenhauer, Department of Biological Systems Engineering, 232 Chase Hall, Univer¬sity of Nebraska, Lincoln, NE 68583.

Abd El-Ghani M. El-Gindy, Agricultural Mechanization Department, Faculty of Agriculture, Ain-Shams University, Cairo, Egypt.

Ronald L. Elliott, Biosystems and Agricultural Engineering Department, 111 Ag Hall, Okla¬homa State University, Stillwater, OK 74078.

Robert G. Evans, USDA-ARS Northern Plains Agricultural Research Laboratory, 1500 North Central Avenue, Sidney, MN 59270.

Robert O. Evans, Biological and Agricultural Engineering Department, P.O. Box 7625, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695.

Delmar D. Fangmeier, University of Arizona, Tucson (retired). Current address: 848 West Sa¬fari Dr., Tucson, AZ 85704.

James L. Fouss, USDA-ARS Soil and Water Research Unit, 4115 Gourrier Ave., Baton Rouge, LA 70808.

Ronald J. Gaddis, A B Consulting Co., Inc., Lincoln, NE (retired). Current address: 8100 Sanborn Dr., Lincoln, NE 68505.

Leland A. Hardy, H & R Engineering, Inc., 690 Loring Dr. NW, Salem, OR 97304.

Dale F. Heermann, USDA-ARS Water Management Research, Natural Resources Research Center, 2150 Centre Ave., Building D, Suite 320, Fort Collins, CO 80526 (retired).

Glenn J. Hoffman, Department of Biological Systems Engineering, University of Nebraska, Lincoln, NE (retired). Current address: 9203 N. Crown Ridge, Fountain Hills, AZ 85268.

Sagit R. Ibatullin, Water Economy Research Institute, 12 Kolbasshy Koygeldy Str., 480022 Taraz City, Kazakhstan.

Marvin E. Jensen, USDA-ARS National Program Staff, Fort Collins, CO (retired). Current address: 1207 Springwood Dr., Fort Collins, CO 80525.

Dennis C. Kincaid, USDA-ARS, Kimberly, ID (retired). Current address: 3849B North 3700 East, Hansen, ID 83334.

Larry G. King, Department Agricultural and Biological Systems Engineering, Washington State University, Pullman, WA (retired). Current address: 19855 East Silver Creek Lane, Queen Creek, AZ 85242.

E. Gordon Kruse, USDA-ARS Water Management Research, Fort Collins, CO (retired). Current address: 4740 Player Dr., Fort Collins, CO 80525.

Joseph M. Lord, Jr., JMLord, Inc., 267 North Fulton St., Fresno, CA 93701.

William M. Lyle, Texas A&M University, Lubbock, TX (retired). Current address: BoX 1679, Hilltop Lakes, TX 77871.

Mark Madison, CH2M Hill, 2020 SW 4th Ave., Portland, OR 97201 .

Derrel L. Martin, Department of Biological Systems Engineering, 243 Chase Hall, University of Nebraska, Lincoln, NE 68583.

Anne M. S. McFarland, Texas Institute for Applied Environmental Research, Tarleton State University, 201 S1, Felix Street, Stephenville, TX 76401.

Marshall 1. McFarland, Agricultural Research and Extension Center, Stephenville, TX (retired) Current address: 1025 Darren Drive, Stephenville, TX 76401.

Alan W. Moore, Cameron County Drainage District 5, 301 East Pierce St., Harlingen, TX 78550.

Luis S. Pereira, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal. Current address: Institute Superior de Agronomia, Departmento Engenharia Rural, Tapada da Ajuda, Lisboa Codex 1399, Portugal.

William O. Pruitt, University of California, Davis, CA (retired). Current address: 804 West 8th St., Davis, CA 95616.

John A. Replogle, USDA-ARS Arid-Land Agricultural Research Center, 21881 North Cardon Lane, Maricopa, AZ 85238.

Matt A. Sanderson, USDA-ARS Pasture Systems and Watershed Management Research Unit, Building 3702, Curtin Rd., University Park, P A 16802.

Joseph Shalhevet, Institute of Soil, Water and Environmental Science, Agricultural Research Organization, Bet Dagan, Israel (retired). Current address: 14 Einstein Street, Rehovot 76470, Israel.

Allen G. Smajstrala, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Flor¬ida, Gainesville, FL (deceased).

Roger E. Smith, UDSA-ARS, Fort Collins, CO. Current address: Colorado State University, 2150 Centre Ave., Building D, Fort Collins, CO 80526.

Kenneth H. Solomon, BioResource and Agricultural Engineering Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA (retired). Current address: 190 Kodiak St., Morro Bay, CA 93442.

Dean D. Steele, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, North Dakota State University, 1221 Albrecht Blvd., P.O. Box 5626, Fargo, ND 58105.

Theodor S. Strelkoff, USDA-ARS Arid-Land Agricultural Research Center, 21881 North Cardon Lane, Maricopa, AZ 85238.

Thomas J. Trout, USDA-ARS Water Management Research, Natural Resources Research Center, 2150 Centre Ave., Building D, Suite 320, Fort Collins, CO 80526.

Ted W. van der Gulik, Resource Management Branch, BC Ministry of Agriculture and Lands, 1767 Angus Campbell Rd., Abbotsford, BC V3G 2E5, Canada.

Wynn R. Walker, College of Engineering, Utah State University, Logan, UT 84322.

Arthur W. Warrick, Department of Soils, Water and Environmental Science, Shantz Building, P.O. Box 210038, University of Arizona, Tucson, AZ 85721.
Lyman S. Willardson, Utah State University, Logan, UT (deceased).
James L. :Vright, USDA-ARS Northwest Irrigation and Soils Research Laboratory, Kimberly, ID (retired).
I-Pai Wu, Department of Biosystems Engineering, University of Hawaii, Honolulu, HI (retired).

المحتويات

الفصل الثالث عشر

هيدروليكا النظم السطحية

تيودور س.ستريلكوف (USDA-ARS، ماريكوبا، أريزونا)
ألبرت ج. كليمنس (USDA-ARS، ماريكوبا، أريزونا)

ملخص: يشتمل الفصل على تحديد أهداف الري السطحي ووصف العمليات الفيزيائية. وسيتم مناقشة كل من العوامل الحقلية مثل الميل، والتسرب، والخشونة، وعوامل التصميم الفيزيائية مثل المقطع العرضي للخط أو الشريحة وطول المجرى، والعوامل الإدارية مثل التحكم في التدفق الداخل والتدفق الخارج، مع التأكيد على دور النمذجة كأداة للتصميم والإدارة، وهذا الدور يعد محور القوانين الفيزيائية مثل قوانين حفظ الكتلة وكمية الحركة. وسيتم بالتفصيل وصف النمذجة الهيدرولوجية، أو المعامل المدمج، كتقنية بسيطة نسبياً وصحيحة بدرجة كافية لكثير من الأغراض. وسيتم شرح الأخطاء التي تنشأ نتيجة لبعض الافتراضات التي توضع لتحقيق التبسيط. وإن المنهج الهيدروديناميكي أو المعامل المتوزع، يكون نفسه عرضة لسلسلة من التبسيطات، وهو مذكور مع تفصيل كاف لتحقيق فهم أساسي لتقنيات الافتراضات والحلول. وهناك عرض لحزمة من برامج الحاسب الآلي المفيدة للمستخدم، وينتهي الفصل بمناقشة تقنيات تقدير التسرب والخشونة في الحقل كمدخلات لبرامج التصميم والمحاكاة.
الكلمات الأساسية: الكفاءة، الهيدروديناميكا، النمذجة، تقدير المعامل، المحاكاة، الري السطحي، الموازنة الحجمية.

(١٣,١) مقدمة

(١٣,١,١) الوضع الحالي والتاريخي للري السطحي

يتم الري السطحي عن طريق إضافة الماء عند نقطة معينة في الحقل والسماح له بالتدفق عبر سطح التربة لتصل إلى النباتات المستلمة، وقد تمت ممارسته في كثير من مناطق العالم منذ الأزمنة القديمة. ومنذ ٤٠٠٠ عام على الأقل، قام المزارعون في مصر، والصين، والهند، وبلدان أخرى من العالم بري الأراضي الزراعية. وفي عام ٢٠٠ قبل الميلاد، قام مزارعو الهوهوكام بتحويل المياه مما يُعرف الآن بنهر سولت من خلال قنوات تم حفرها يدوياً بطول ٢٠٠ كم إلى وحول الموقع الحديث بفونيكس، أريزونا (Salt River Project, 1960)، وإن التاريخ الطويل، بما فيه من نجاح وفشل، له قيمة كبيرة. وتوضح الأدلة على الزراعة المستديمة في الأراضي الجافة المساهمة التي يمكن أن يشارك بها الري الناجح في المجتمع. وتؤكد دلائل التربة الملحية والنظم المهجورة على الحاجة إلى ممارسة الري بحكمة أو مواجهة عواقب مماثلة.

سريعاً بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية، اتحدت التقنية، والطاقة، والدعم الصناعي لتشجيع النهضة السريعة في نظم الري بالرش، والتي تلاها الري الدقيق ونظم الطاقة المنخفضة LEPA. ومازالت، برغم شعبية نظم الري التي تعمل بضغط المياه (النظم المضغوطة)، تشير تقديرات الجمعية الأمريكية الجيولوجية USGS إلى أن حوالي ٤٨٪ تقريباً من بين ٢٥ مليون هكتار يتم ريها في الولايات المتحدة، وخدمتها بوسائل الري السطحية (Hutson *et al.,* 2004)، وتزداد النسبة إلى حوالي ٩٠٪ في الأجزاء الأخرى من العالم. وتعد في معظم الحالات الطريق الأرخص ثمناً لإضافة المياه للمحاصيل، وهي تتطلب في العادة الاستهلاك الأقل من الطاقة، ولكنها تعد أكثر الطرق إهداراً للمياه، وتعد أكثر احتياجاً للعمالة وأقل ملاءمة من الطرق المضغوطة. ومع هذا، وتحت الظروف الحقلية المناسبة، يمكن أن يؤدي التصميم والإدارة الصحيحة للنظم السطحية إلى كفاءات إضافة أعلى، عند مقارنتها بالطرق الأخرى.

وهناك إمكانية أن تعمل على تطبيق العمل الآلي وتقليل متطلبات العمالة. والأكثر من هذا، ففي كثير من مناطق العالم، تكون العمالة باهظة التكاليف نسبياً، في حين تكون إتاحة المياه ورأس المال منخفضة.

(١٣,١,٢) جدولة الري مقابل النظامية الإضافة

إن الجانب الرئيس للري بكفاءة يكون عن طريق إضافة المياه إلى التربة بالكميات اللازمة وفي الأوقات اللازمة عبر الحقل المروي بأكمله. وتحديد احتياجات النبات من المياه تمت دراسته بالتفصيل في الفصل الثامن، وبمجرد تحديد الاحتياجات والتوقيت، فإن وضع هذه الكمية بالفعل عند جذور النبات ليس أمراً سهلاً وهو عرضة للدراسات الهيدروليكية للنظم داخل المزرعة التي تقوم بتوزيع المياه عبر المساحة المزروعة. وإن تغير الضغط في النظام المضغوط أو ارتفاعات سطح المياه في النظام السطحي، استجابة إلى تأثير التدفقات التي تسود المواقع المتنوعة في النظام، هو الذي يحدد انتظامية توزيع المياه على النباتات الفردية. وبالفهم الكامل لديناميكيات النظام والقدرة على التأثير عليه، يمكن اتخاذ القرارات العقلانية التي توازن تكاليف النظام مقابل الأموال المخصصة والتكاليف الأخرى للري المحلي الزائد أو الناقص.

(١٣,١,٣) دور المحاكاة في التصميم والتشغيل

قام تصميم النظم السطحية على الخبرة في المشروعات الناجحة، والبديهة، والتجميع التجريبي، وليس على النظرية بدرجة كبيرة. ومع هذا، فإن كثيراً من المشاكل التحليلية المتعلقة بالتنبؤ بتدفقات الري السطحية قد تم حلها الآن، ومن الممكن الآن القيام بتطوير التصاميم وتوصيات التشغيل بناءً على المحاكاة، أي حلول المعادلات الهيدروليكية المتعلقة بها مع القيم التجريبية لمتغيرات التصميم خلال البحث عن الأمثل.

وتعبر هذه المعادلات عن القوانين الفيزيائية الأساسية: قانون حفظ الطاقة وكمية الحركة. ومن منظور قدرتنا المحدودة كي نقوم نظرياً بالتنبؤ بتفاعل التربة والنباتات في النظام مع هيدروليكا مجرى الري، فإن بعض المدخلات العملية تكون

ضرورية. ولكن عن طريق تقييد الجوانب العملية للدراسة بإمكاننا أن نأمل في مزيد من الشمولية للنتائج أكثر من الممكن مع مزيد من المحاولات العملية الخالصة لتوقع سلوك المجرى أو أداء الري.

(١٣,١,٤) نطاق الفصل

يقدم هذا الفصل نظرة عامة لسلوك قنوات الري من خلال تأثيرها على المعاملات الهيدروليكية للتربة والمحصول، ومعاملات التصميم الفيزيائية، ومعاملات إدارة الري. وتحدد هذه المعاملات نتاج وجدارة الري. وسيكون التركيز على محاكاة تدفق الري السطحي للاستخدام في تطوير توصيات التصميم والإدارة.

ويتم عرض حالات المحاكاة من خلال كل من وجهة النظر الهيدرولوجية والهيدرديناميكية. فالمنهج الهيدرولوجي أو المجمع لشكل يجعل افتراض شكل مجرى الري شيئاً مفيداً. وإن أحد التقريبات أو غيره لقانون حفظ كمية الحركة يؤسس العمق عند إحدى النقاط في المجرى، وبشكل نموذجي عند بداية اتجاه السريان. ويؤدي مبدأ قانون حفظ الكتلة عندئذ إلى معادلات تفاضلية عادية (أو إلى تكامل مناظر معقد) في طول المجرى كدالة في الزمن. ولا يقوم المنهج الهيدروديناميكي أو الموزع باستخدام افتراضات الشكل، وبدلاً من هذا يستخدم مبادئ حفظ الكتلة وكمية الحركة لحل الاختلافات في العمق والتصرف داخل المجرى المائي، ويؤدي هذا إلى معادلات تفاضلية جزئية في الزمن والمسافة أو ما يكافئها.

وهناك عرض للمعادلات التي تحكم التدفق سوياً مع الشروط الأولية والحدية. وهناك وصف لبرامج المحاكاة التي تقوم على الحلول العددية للمعادلات. ويمكن تطبيق المعادلات التي تحكم التدفق على مشكلة عكسية: تقدير معاملات الحقل من السلوك المشاهد لمجرى الري. وعند الحاجة يكون هناك عرض لهيدروليكا الري السطحي في صيغة لا بعدية لتسمح بنقل أكبر كمية من المعلومات بأقل جهد حسابي وأقل حجم لقاعدة البيانات، ويتم عادةً حساب وتخزين قواعد بيانات حالات المحاكاة لأجل التصميم بدون أبعاد.

والهدف هو تطوير نظم ري سطحية يمكن تشغيلها بطريقة ذات كفاءة، وفعالة، ومستديمة، ومناسبة للبيئة.

(١٣,٢) المفاهيم الأساسية لهيدروليكا الري السطحي

(١٣,٢,١) خصائص الري السطحي

يتم نقل المياه في الري السطحي إلى الطرف العلوي أو مدخل حقل أفقي (مستو) أو مائل ويتم إطلاقها هناك لتتدفق عبر الحقل عن طريق الجاذبية الأرضية. وهناك خاصية واضحة ومهيمنة على الري السطحي وهي أن تدفق نفس القنوات التي تنقل المياه إلى أطرافها البعيدة يتم استخدامها أيضاً على طول الطريق لسحب المياه بالتسرب لأجل احتياجات النبات. وهناك خاصية واضحة وجلية أخرى وهي أن المقطع العرضي للتدفق ليس مقيداً بحدود ثابتة كجدار أنبوب مثلاً، ويكون عمق التدفق حراً في البحث عن مستواه. ففي أنبوب ما حتى لو لم تكن ممتلئة عند وقت بدء الري، فإن المياه تتحرك بسرعة نحو الطرف، ويكون زمن تشغيل المدخل الجانبي عند الطرف البعيد هو نفسه عند الطرف القريب. ولكن في الري السطحي تتحرك المياه نمطياً بشكل أبطأ كثيراً، وتتطلب أحياناً ساعات لتتحرك عبر خط مفرد.

إن سريان مياه الري عندما تحاط بالخطوط فإنها تتدفق في اتجاهات محددة معروفة، وتكون الأبعاد العرضية لمثل هذه المجاري المائية أصغر بكثير من امتداداتها الطولية، وتكون التغيرات العرضية في ارتفاع سطح المياه، والمكونات العرضية للسرعة غير كبيرة. وعلاوة على هذا ففي الأحواض أو قطاعات الشرائح التي تم إنشاؤها على نحو جيد، فإن الميل العرضي يكون مهملاً، وبمجرد أن يتقدم التدفق بانتظام عبر نهاية الحقل، فإنه يتقدم على امتداد سطح الحقل وبتغير عرضي بسيط، وفي هذه الحالات يكون التحليل أحادي البعد للتدفق كافياً. ويمكن عرض العوامل الهيدروليكية مثل سرعة التدفق والعمق كدوال في المسافة على امتداد القناة والزمن، أي، في سطح أحادي البعد.

ولكن في بعض نظم الري السطحي لا يتم توفر شروط العرض الكافي أحادي البعد، ومن المعتاد في الأحواض المستوية بدرجة عالية، على سبيل المثال، أن يتم إضافة المياه من مصدر مفرد بشكل حيوي، أو مصدر موجود عند أحد الأركان، أو في منتصف الجانب. وينتشر التدفق غير المقيد من المصدر في كل الاتجاهات الممكنة. ولا يهم أي اتجاه يتم اختياره للمحاكاة أحادية البعد، ويمكن اعتبار النتائج على أنها تقريبات شديدة التقريب، ويكون هناك حاجة للتحليل ثنائي البعد. وعلاوة على هذا، ففي حقل غير كامل التسوية أو في حقل مدرج إذا لم يكن حجم المجرى المائي كبيراً جداً بحيث تكون أعماق المياه أكبر بكثير من الاختلافات في ارتفاعات سطح الحقل، فإن المياه سوف تتركز في المناطق المنخفضة، مقدماً وأثناء الانحسار، مع حدوث انخفاضات ناتجة في انتظامية الإضافة عبر الحقل. ويمكن أن تتوقع المحاكاة ثنائية البعد التوزيع الناتج للمياه المتسربة.

وفي حالة التدفق المضغوط، حيث إن العلاقة بين الضغط الخطي والتصرف الخارج من الخط الفرعي من خلال فوهة أو منقط تكون معروفة نسبياً، فإن توقع التصرف الخارج من الخط الفرعي عن طريق تسرب التربة يكون أكثر صعوبة. وبرغم أن نظرية التسرب تم تأسيسها على نحو جيد (الفصل السادس)، إلا أن النتائج تعتمد على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، بما فيها التركيب الهندسي لجزيئات التربة وترتيبها في المصفوفة والمحتوى المائي المحيط داخلها. والأكثر من هذا ففي ري الخطوط، يمكن أن يتسبب العمق المتغير للتدفق على المنطقة المبللة بالتأثير على التسرب عبرها إلى داخل التربة المحيطة. فتمييز هذه العوامل باختلافها من مكان لآخر على امتداد مجرى الري يمكن أن تكون مهمة كبيرة، ومن الشائع القيام بافتراضات تبسيطية كبيرة.

في خطوط الضغط، يتم القيام بمقاومة التدفق من خلال الجدران الملساء أو الخشنة بدرجة بسيطة ويكون من السهل نسبياً توصيفها. وإن العلاقات بين معدل التدفق وانخفاض الضغط في الأنابيب، خلال الطرق التجريبية، تعد أموراً معروفة جيداً ويمكن قياسها مع قابليتها الجيدة للتكرار. بينما في الري السطحي يمكن مقاومة التدفق عن طريق أنواع التربة

الجرداء، التي يتم تمليسها بعمليات ري سابقة، أو عن طريق الكتلة الترابية التي تعتبر كبيرةً مقارنة بعمق التدفق بالمجرى، أو عن طريق وضع طبقة من التبن (النشارة) عند قاع الخطوط أو الأخاديد، أو عن طريق جذوع وأوراق النبات التي تنمو خلال مجرى الري. من الصعب تمييز سحب التشكيل المبذول بهذه العوامل، حتى لو كانت أشكالها، وأحجامها، وكثافة حدوثها معروفة. وكما في حالة التسرب، فإن الافتراضات التبسيطية الرئيسة يتم عرضها في عملية تمييز مقاومة التدفق في معادلات المحاكاة.

(١٣,٢,٢) عملية الري السطحي

تكمن مهام الري كاملة المراحل، والتي تبدأ بمرحلة تقدم جبهة البلل، التي تتحرك فيها المياه عبر الحقل من نقطة الدخول. ويمكن أن يتباطأ التقدم ويتوقف لحظياً قبل الاكتمال (الوصول إلى نهاية الحقل)، عند إحدى النقاط المتوسطة على امتداد مجراه. وسوف تحدث هذه الحالة إذا كان معدل تسرب التربة كبيراً جداً بالنسبة لحجم التدفق المائي أو مدة الاستمرار. وإلا، سوف ينتهي التقدم عندما تتصادم مقدمة التدفق المائي مع حدود الحقل. وفي حوض ما، يتم منع الجريان السطحي عن طريق عمل مجاز ضيق، وتقوم المياه بتكوين بركة وراءه، وإلا سوف يحدث جريان سطحي للتدفق عند الطرف. وبعد اكتمال التقدم، وأثناء مرحلة التخزين، فإن التسرب يستمر حتى يتم إضافة كمية كافية من المياه لتلبية متطلبات الحقل. وبعد توقف التسرب، في مرحلة النضوب، فإن التدفق السطحي يقل في العمق، حيث إن التسرب، ومن المحتمل الجريان السطحي يستمران. وفي النهاية يكون سطح التربة أسفل التدفق المائي مكشوفاً حيث يبدأ مرحلة الانحسار، وعادة من بداية منبع السريان. وبوجود ميل صغير كافٍ، يمكن أن يبدأ الانحسار من نهاية مصب السريان، ويمكن أن يتقلص التدفق كذلك عند كلا الطرفين. والفترة الزمنية بين وصول التدفق المائي ومغادرته عند نقطة ما يُعرف بزمن فرصة التسرب لهذا الموقع.

يمكن تمييز مرحلة التقدم بالعدواني إذا انتهى المقطع الجانبي للمجرى عند حد غير حاد يتقدم بشكل سريع نسبياً، مع انخفاض تدريجي فقط في السرعة. وهذا أمر

محتمل غالباً عند بدء تقدم التدفق. ومن وجه نظر المحاكاة، فإن هذه تعد مشكلة رياضية محيرة: فالتغيرات الصغيرة في أي من الشروط المسلم بها تؤدي إلى تغييرات صغيرة في التقدم المحسوب. ولكن كلما تم سحب المزيد والمزيد من التدفق عن طريق التسرب، حيث يزداد طول التدفق المائي، وخاصة مع الأحجام الصغيرة للتدفق وأنواع التربة المنفذة نسبياً، فإن المقطع الجانبي لجبهة تقدم موجة المياه يميل أكثر إلى تكوين حد يتقدم ببطء شديد (ربما عند ٠,٢م/دقيقة أو أقل) أو عند البدء والتوقف. وهذا النظام يكون مربكاً بدرجة سيئة: فالتغيرات الصغيرة في التدفق، أو خصائص التسرب، أو ميل سطح التربة، أو الخشونة يمكن أن تنتج فروقاً كبيرة في زمن التقدم عند نقطة ما. ومحاكاة هذه الحالة ليس أمراً شاقاً[1] جداً، مع إمكانية القيام بالحساب الغير منطقي للأعماق السلبية والانحسار المبكر لطرف المقدمة.

ويمكن كذلك أن يحدث الانحسار فيزيائياً عند الطرف المتقدم من جبهة البلل، إما قبل اكتمال التقدم أو بعده، وأي نقص في معدل التدفق في مسار تشغيل النظام يمكن أن يؤدي إلى انحسار طرف جبهة التقدم. وفي حين أن هذا يحدث في أغلب الحالات بعد قطع التدفق في الحقول الأفقية أو الأفقية تقريباً، فإن هذا يمكن أن ينتج في الحقول المائلة كذلك، وقبل قطع التدفق. ومن الضروري فقط أن يتم تجاوز معدل التدفق Q_0، عن طريق معدل النمو للحجم المتسرب بأكمله V_z، أي أن يكون dV_z / dt أكبر بكثير من Q_0 بحيث لا يمكن تعويض التفاوت بتقليل عمق المياه السطحية فقط. ونظرياً، فإن معدل التسرب الذي يزداد مع زمن البلل يمكن أيضاً أن يتسبب في حدوث مثل هذا السلوك. وبشكل نمطي، فإن معدلات التسرب تقل مع الزمن، أو تظل ثابتة، ولكن هناك تسجيل لبعض الحالات التي ازدادت فيها (Trout and Johnson, 1989).

وهناك سبب شائع آخر لانحسار الطرف المتقدم قبل توقف التدفق وهو نقص تشغيل نظام الخطوط. وفي هذا النمط من التشغيل، فلمنع الجريان السطحي الزائد من

(١) يقال لنموذج ما إنه شاق عندما يكون في الإمكان تشكيل مدى واسع من الظروف بدون تدخل المستخدم لمنع محاكاة فاشلة.

طرف الحقل، يقل التدفق عند وصول التيارات المائية إلى طرف الحقل. وإذا كان التدفق المتبقي غير كاف للعمل على استدامة التسرب عبر الطول الكلي للمجرى المائي، فلن يتوقف الجريان السطحي فقط وإنما سيتراجع التدفق المائي من طرف الحقل، وسينكمش الطول حتى يعمل معدل التدفق على موازنة المعدل الكلي للتسرب من الخط. وإذا انخفضت معدلات التسرب بدرجة كافية قبل التوقف، فإن التيار المائي يبدأ أخيراً في التقدم مرة أخرى. ونظرياً، إذا كان معدل التسرب في التربة ومعدل التدفق إلى الشريحة أو الخط ثابتين، فسوف يستمر التقدم، أي سوف يزداد طول التيار المائي حتى يتوافق التسرب الكلي على امتداد الطول مع معدل التدفق، وعندها سوف ينقطع التقدم، وسوف يظل طول التيار المائي ثابتاً إلى أن تتغير الشروط.

وعندما ينقطع التدفق الداخل قبل أن يصل التيار المائي إلى نهاية الحقل، فإن التقدم يستمر عادةً لفترة من الزمن، إذا كان التيار المائي عميقاً بدرجة كافية، وكان الميل كبيراً جداً، وكان التسرب، والخشونة، والاستهلاك النباتي لهم قيم صغيرة بشكل كاف. وهذه أحد ظروف التشغيل الشائعة في حالة الري عالي الكفاءة في الأحواض المستوية وفي قطاعات الشرائح المائلة، حيث تعمل على تقليل كمية الجريان السطحي.

ولكن إذا بدأ انحسار طرف المقدمة عن طريق قطع التدفق المائي قبل الموعد المناسب، فإن الطرف المتقدم يعمل على انحسار منبع السريان، بينما في نفس الوقت، إذا كان ميل الحقل كافياً، فإن الطرف الخلفي ينحسر من طرف المنفذ، إلى أن تختفي كل مياه السطح داخل التربة. وما لم يتم التخطيط لسلسلة من التدفقات، بحيث تقوم كل دفقة بالتقدم إلى أبعد ما قامت به التي تسبقها، فمن الواضح أن هذه ليست حالة تشغيل معتادة، حيث إن جزءًا من الحقل يتم تركه جافاً بالكامل، ومناطق أخرى سوف تتسلم كميات صغيرة من المياه المتسربة. وهناك بعض النماذج الرياضية المناسبة لعملية الري السطحي، مثل SIRMOD (ISED, 1989) و SRFR (Strelkoff *et al.*, 1998) يمكن أن تتنبأ ببداية انحسار طرف المقدمة.

وتمثل الظاهرة بأكملها حالة من التدفق غير المستقر، وغير المنتظم، والمتغير بشكل حيزي عبر قاع منفذ، وهي تشبه الحالات الأخرى من التدفق فوق سطح الأرض. وفي مثل هذه الحالات فإنه يمكن وصفها إما من خلال تتابع من المقاطع الجانبية للمياه السطحية، أو من خلال المنحنيات المائية التي توضح اختلاف معدل التصرف السطحي أو العمق مع الزمن عند سلسلة من المحطات على امتداد الطول.

(١٣,٢,٣) أداء الري

إن ميزة عملية الري تحدد كيف يتم إضافة المياه بشكل جيد، وتعد المنحنيات الوصفية المتعددة استخداماً شائعاً للقيام بهذا. فانتظامية ما بعد توزيع الري المساحي للمياه المتسربة (التوزيع الطولي في اتجاه واحد) يتم التعبير عنها غالباً من خلال معامل الانتظامية، وهو النسبة بين أدنى عمق في التوزيع إلى متوسط عمق التسرب:

$$DU_{min} = \frac{d_{min}}{D_{inf}} \qquad (١٣,١)$$

أو نسبة متوسط الربع المنخفض من الأعماق إلى متوسط العمق:

$$DU_{LQ} = \frac{\tilde{d}_{LQ}}{D_{inf}} \qquad (١٣,٢)$$

إن كفاءة الإضافة هي نسبة حجم المياه المضافة التي تساهم في احتياجات النبات (Burt *et al.*, 1997). وعندما يساوي أدنى حد في التوزيع بالضبط العمق المطلوب، فإن الكفاءة تعرف بأدنى كفاءة إضافة محتملة:

$$PAE_{min} = \frac{D_{REQ}}{D_Q} \times 100\% \qquad (١٣,٣)$$

مع التعبير عن الأحجام بدلالة الأعماق المكافئة للحقل الواسع. وعندما يتوافق العمق المتطلب تماماً مع متوسط أعماق الربع المنخفض، فإن كفاءة الإضافة تعرف

بكفاءة الإضافة المحتملة في الربع المنخفض، PAE_{LQ}. وبناءً على ظروف التشغيل، هناك حدود أخرى يكون لها أهميتها في وصف جدارة الري وهي الأحجام، أو الأعماق المكافئة، أو نسب الجريان السطحي والتسرب العميق (التسرب الزائد عن المطلوب). انظر أيضاً الفصل الرابع عشر.

(١٣,٣) العوامل التي تؤثر على عملية الري السطحي

إن العوامل المستقلة، التي تحكم سلوك التيار المائي في الحقل أو التي تحدد طريقة الحل لمعادلات التحكم في إحدى حالات المحاكاة، يمكن تصنيفها إلى ثلاث مجموعات:

١- ظروف الحقل السائدة: ارتفاعات سطح التربة، والخشونة، والتسرب.
٢- هندسة وأبعاد النظام.
٣ - تشغيل النظام.

وفيما يلي تجميع كل الجوانب الهندسية للمتغيرات المستقلة في مجموعة واحدة، وظروف الحقل المتبقية، وتحديداً، مقاومة التدفق السطحي والتسرب إلى داخل التربة، تم تجميعها في مجموعتين أخريين. ويمكن أن تؤثر إدارة النظام على كل هذه العوامل: فتدريج الحقل يقلل من عدم الانتظام في ارتفاعات القاع أو يعمل على تسوية الحقل أيضاً، والفعل الطريبدي (وهو سحب أسطوانة ثقيلة وملساء على امتداد طول الخط) أو دفع ماكينة المزرعة في الخط (جعل العجلة تقوم بالتجديف) يعمل على انضغاط وتمليس سطح التربة بما يقلل كلا من الانجراف والتسرب، بينما تعمل إضافات البوليكمادز (Trout *et al.*, 1995) على زيادة التسرب، وكذلك تقليل قابلية مقاومة سطح التربة. والنوع الأخير من العوامل المستقلة يقوم بوصف المنحنى المائي للتدفق.

(١٣,٣,١) هندسية النظام

في الحالة الأكثر بساطة، تُحدد هندسية القناة التي تنقل تيار الري بالقطاع العرضي للخط، أو بقطاع الشريحة، أو الحوض وطوله وميله، وكذلك من خلال

الشروط الحدية لمنبع ومصب السريان، أي، ما إذا كان التدفق حراً في دخول ومغادرة كل طرف.

وعند طرف منبع السريان من كل قناة تدفق، فإن شكل التدفق يحدد ما إذا كان التصرف يمكن أن يُعطى ككمية مستقلة. وفي حالة وجود أنبوب بفتحات وحرية التدفق في الخروج من الفتحات، فإن التدفق يكون مستقلاً عن العمق في الخط. ويعتمد التدفق خلال أنابيب السيفونات أو قنوات التصريف بعض الشيء على عمق التدفق، الذي من المحتمل أن يتميز بارتفاعات القاع المختلفة. وعلى سبيل المثال، مع طرق الإنشاء البدائية تكون التدفقات معتمدة بشكل مباشر على ارتفاع سطح المياه في القناة. وبالتالي، فإن تصميم نظام الخطوط يمكن أن يكون له أثر كبير على أداء الري السطحي.

ويتم في بعض الأحيان تعديل الأحواض المستوية التقليدية عن طريق إنشاء قنوات النقل، وهي خطوط كبيرة حول المحيط الخارجي للحوض، والتي يتم تصميمها لتوصيل المياه من المنفذ سريعاً إلى طرف مصب السريان، وبهذا فإن هذا الحوض يتم ريه من كلا الجانبين. وتحت الظروف المثالية، فإن كفاءة مثل هذا الحوض تقترب من كفاءة الحوض الذي يساوي نصفه طولاً بالضبط.

وللسماح بالقيام بالإضافات الخفيفة بانتظامية جيدة وتوفير مخرج لمياه الأمطار، فإنه يتم في بعض الأحيان إنشاء الأحواض المستوية لتسمح بكل من التدفق الداخل والتدفق الخارج من أحد جوانب الحوض (الأحواض المستوية ذات الصرف الخلفي، Dedrick, 1991). وفي توسع متأخر لمفهوم الصرف السطحي، التي تشيع في الوادي المنخفض الرطب بميسيسيبي، فإن الحقل الكبير الذي تمت تسويته بالليزر يتم تشكيله على شكل شبكة من الخطوط المتصلبة عن طريق شبكة من القنوات الضحلة الصغيرة التي تقوم بكل من وظائف الإضافة والصرف. ويتم سريعاً إغراق كل مساحة فرعية صغيرة بما يؤدي لحدوث انتظامية جيدة. والمياه الزائدة، بالمثل، تتصرف بحرية إلى خارج المنطقة المزروعة.

وعند طرف مصب السريان من الحوض التقليدي أو مجموعة الخطوط ، فإن الشكل الأكثر بساطة هو النهاية المغلقة مع تدفقات خارجة تساوي الصفر. وبالتبادل ، ربما يكون هناك سقوط زائد للمياه لداخل قناة الصرف. ويمكن لخط أو قناة التجميع المستعرضة ، التي يكون منسوب المياه بها أعلى من قاع الخطوط الطولية ، أن تؤثر على التدفق الخارج الناتج من هذه الخطوط ، بتأثير يضاعف التدفقات داخلها.

ويمكن أن تختلف ميول القاع على امتداد طول المجرى ، وإذا تضاعفت تدفقات الخط ، فإن أشكال القاع في الخطوط المتجاورة في مجموعة ما سوف تؤثر كذلك على التدفق في أي خط منها. وفي أي حدث ، فإن كلا من التغيرات الطولية في اختلافات التدريج والاختلافات المستعرضة في شكل القاع يمكن أن يكون لها أثر كبير على انتظامية التوزيع الموسعة عبر الحقل.

وإن اختلاف الموقع في شكل القاع يكون أيضاً محتمل الحدوث في التدفقات ثنائية البعد. وفي الأحواض ، فإن حتى مقداراً صغيراً من التغير يمكن أن يكون له أثر كبير على نمط توزيع التسرب بعد الري. وفي الحوض الذي تمت تسويته حديثاً باستخدام الليزر من التقليدي أن يظهر به انحراف قياسي في الارتفاع بما يساوي حوالي ١٠ مم ، في حين أن المزيد من التدريج التقليدي ينتج انحرافات قياسية من سطح مستو بما يساوي ربما من ٢٠ إلى ٢٥ مم أو ضعف هذا في بعض مناطق العالم (Fangmeier *et al.*, 1999). انظر الفصل الخامس لمراجعة تقدير تأثير الاختلاف المكاني في ارتفاعات سطح التربة على انتظامية التوزيع في الأحواض. ولم يتم بشكل جيد توثيق التأثير على خطوط الشرائح المائلة ، ولكن ، بشكل نوعي ، يمكن توقع أن أهمية الانحرافات عن السطح المستوى سوف تختفي مع معدلات التدفق ، والميول ، والخشونة العالية.

وإذا تم إنشاء الخطوط يدوياً ، فيمكن أن يكون هناك اختلاف طولي كبير في المقطع العرضي وأيضاً في ميل القاع. ولكن حتى مع الخطوط التي يتم عملها بالماكينة ، إذا كانت التربة التي يتم ريها قابلة للمقاومة وإذا كانت سرعات التيار المائي عالية ، فربما يكون هناك اختلاف زمني ومكاني في المقطع العرضي كنتيجة للمقاومة والتسرب

(Trout, 1992). وإن عمليات محاكاة نقل الرواسب في الري السطحي تعد في أطوارها الأولى، ولكن أهمية مثل هذه الاختلافات في المقطع العرضي يمكن دراستها عن طريق إعطاء أرقام معقولة كدالة في المكان والزمن كمعلومات مدخلة لنماذج المحاكاة القادرة على التكيف مع هذه التغيرات. إن عمل المقارنات للمعلومات الخارجة مع وبدون التغير سوف توضح الحاجة إلى التشكيل المتنقل للقاع في الري السطحي. ولابد من ملاحظة أن الاهتمام الحالي بتصوير ظاهرة نقل الرواسب (Strelkoff and Bjorneberg, 2001; Bjorneberg *et al.*, 1999) ينبع مباشرة أساساً من احتمالية وجود توصيات التصميم والإدارة التي تهدف إلى تقليل تحريك التربة على ومن الأرض المروية.

(١٣,٣,٢) مقاومة التدفق

إن مقاومة سطح التربة وغمر النبات فوق تدفق مجرى الري يُعبر عنه عادةً من خلال ميل الاحتكاك S_f ، الذي يُعرف بقوة المقاومة بالنسبة لوزن المجرى (كل منها، لكل وحدة طول من القناة). وهو يعتمد على الخصائص الهندسية لعناصر المقاومة (الحجم، والشكل، والتوزيع، ... إلخ.)، والمقطع العرضي للتدفق، ومتوسط سرعة التدفق. والصيغة التالية لشيزي (Che'zy) C تعبر عن هذه العلاقة:

$$S_f = \frac{Q|Q|}{A_y^{\,2}\, C^2\, R} \qquad (١٣,٤)$$

حيث إن A_y هي مساحة المقطع العرضي للتدفق، و Q معدل التدفق (مع إشارات قيمة مطلقة لحساب التدفق وانعكاس المقاومة)، و R نصف القطر الهيدروليكي، أي نسبة مساحة المقطع العرضي إلى محيط البلل. وبالتبادل، فإن معامل النقل K يمكن تعريفه كما يلي:

$$Q = K\sqrt{S_f} \quad \text{حيث} \quad K = A_y\, C\sqrt{R} \qquad (١٣,٥)$$

في حالة حدوث التدفق في الاتجاه الموجب.

(١٣,٣,٢,١) مقاومة السطح

يعتمد معامل شيزي C بشكل أساسي على الخشونة النسبية، وهي النسبة بين حجم عنصر الخشونة إلى نصف القطر الهيدروليكي. ومعادلة مانِنق العملية واسعة الاستخدام هي:

$$C = c_u \frac{R^{1/6}}{n} \qquad (١٣,٦)$$

وهي تتميز بوجود معامل الخشونة المطلقة n، الذي يُعبر عنه بوحدة م^٦/١ بما يجعل الخشونة النسبية بدون أبعاد، ومعامل الوحدات، c_u، في النظام المتري هو م^٢/١/ث. وللسماح باستخدام نفس قيمة n العددية في نظام وحدات القدم-باوند، فإن

$$c_u = 1.486\ ft^{1/3}\ m^{1/6}/s$$

وبالاستنباط بدون النظرية الحديثة لمقاومة التدفق المضطرب، فإن معادلة مانِنق، لكي تتوقع بدقة قيمة C عندما تختلف أعماق التدفق عبر مدى كبير، تتطلب أن تختلف n مع R، بما يتضاد مع معناه كخشونة مطلقة. وقد افترض تيني وباسيت Tinney and Bassett (1961) قانون تغير أس n مع العمق. وهناك مزيد من الدراسات النظرية (Sayer and Albertson, 1961) في القنوات المفتوحة شديدة الخشونة، التي تلت تحليلات كولبروك ووايت Clebrook and White للتدفق في الأنابيب مع وجود حجم مكافئ من حبيبات الرمل، مما أدى إلى المعادلة اللوغاريتمية:

$$C = 6.06\sqrt{g}\,\log_{10}\left(\frac{R}{X}\right) \qquad (١٣,٧)$$

والتي تكون فيها X هو معامل الخشونة المطلق، مقاساً بالمتر أو القدم، و g نسبة الوزن إلى الكتلة (حوالي ٩,٨١ م/ث^٢ في النظام المتري، و ٣٢,٢ قدم^٢/ث في نظام وحدات القدم-باوند). وفي دراسة مقارنة لتمييز عناصر الخشونة الكبرى

(Strelkoff and Falvey, 1993) فإن الاختلاف الصغير في معامل ساير ألبرتسون X مقارنةً بالاختلاف الكبير في n يوضح تفوق معادلة ساير وألبرتسون Sayer and Albertson في هذه الحالة. وللسماح بتقدير X من قياسات الخشونة المطلقة، فإن المقارنات المعملية والميدانية المكثفة في منتصف الستينات (Kruse *et al.*, 1965) لهندسة السطح المقاسة بدقة والقيم التي تم حسابها هيدروليكياً لـ X أدت إلى النتيجة التقريبية التالية:

$$X = 12.9\ \sigma^{1.66} \qquad (١٣,٨)$$

والتي تكون فيها σ هي الانحراف القياسي لارتفاعات السطح في الهندسة الدقيقة. ويمكن إيجاد المزيد من المعلومات حول الخشونة والانجراف في المراجعة المكثفة لماهيشواري (1992) Maheshwari.

(١٣,٣,٢,٢) مقاومة النبات

إن المناهج العملية النقية فيزيائياً، من الدراسات الكلاسيكية لري وبالمر Ree and Palmer (1949) تم استبدالها بمناهج أكثر تأسيساً قائمة على الفيزياء، بناءً على ما إذا كان الكساء الخضري بأكمله مغموراً في المياه أو بارزاً من تحت سطح المياه. في حالة النبات المغمور بالمياه، فإن مرونة أجزاء النبات، التي تتلوى إلى أوضاع مقلوبة تماماً مع زيادة سرعات التدفق، قد تم وصفها عن طريق متغير جفاف النبات MEI ، حيث إن I ، هو كمية الحركة التمثيلية للقصور الذاتي للقطاع العرضي لساق النبات، و E معامل المرونة لمادة النبات، و M عدد السيقان لكل وحدة مساحة سطح (Kouwen *et al.*, 1981).

ويتم توزيع تشكيل المقاومة على النبات الذي يخترق التدفق عبر المقطع العرضي للقناة بأكملها وهو يساوي مجموع قوى المقاومة على الأجزاء المنفردة من النبات. وفي مقطع الشريحة (Petryk and Bosmajian, 1975) بكثافة نباتية a_p (المساحة المفترضة لكل وحدة حجم من التدفق) والتي تختلف مع الارتفاع η فوق القاع، فإن ميل الاحتكاك المعرّض له النبات الموجود في التدفق عند سرعة V وعمق y يكون:

$$S_{f_{veg}} = C_D \frac{V^2}{2g} \frac{1}{y} \int_0^y a_p d\eta \qquad (١٣,٩)$$

مع العلم بأن C_D معامل المقاومة (بقيمة، تبلغ في المعتاد حوالي واحد صحيح). وفي الدراسات المعملية البسيطة بوجه خاص والتي تكون فيها أسلاك رأسية بقطر قدره D ، موضوعة عند كثافة قدرها M "سيقان" لكل وحدة مساحة سطح، $a_p = MD$ ، مقدار ثابت. فإن تقديرات الكثافة النباتية يمكن أن تستمر إما هندسياً، أو هيدروليكياً، أي، عن طريق الحسابات العكسية لميل الاحتكاك، والسرعة المتوسطة، وعمق التدفق. وسوف تشمل القياسات الهيدروليكية بالضرورة مقاومة سطح التربة، وهو مكون مهم إذا كان النبات غير كثيف، والذي يجب تقديره لعزل قيمة a_p. ويمكن إيجاد مزايا التغيرات في قيمة a_p في ديدلي وآخرين Dudley *et al.* (1996) ودينن وآخرين Dunn *et al.* (1996).

(١٣,٣,٢,٣) دمج مقاومة سطح التربة ومقاومة النبات

إن النمو الكثيف المغمور يجعل توزيع السرعة في الاتجاه الرأسي أكثر انتظامية، وبالتالي، فعند الحدود، يؤدي إلى انحدار أكثر حدة ومزيد من القص. وعلاوة على هذا، فإن عدم الانتظامية في توزيع السرعة الناجمة عن قص الجدار يؤثر على المقاومة على أجزاء النبات كدالة في العمق. ولكن في التقريب الأول، فإن مقاومة سطح التربة ومقاومة أجزاء النبات يمكن اعتبارهما مستقلين. وبهذا يمكن حساب مكوني المقاومة بشكل منفرد ثم إضافتهما معاً ببساطة (لاحظ أنه بينما تكون قوى المقاومة و S_f إضافية، فإن C و n و i ليست كذلك).

ولا يعد معامل ساير ألبرتسون X ولا الكثافة النباتية a_p ، شائعي الاستخدام اليوم بالنسبة لمحاكاة الري السطحي أو تصميمه (يمكن أن تتكيف SRFR مع قيم X و a_p ، وتكون ثابتة ضمن المقطع العرضي). وفي حين أنه يمكن القيام بكليهما في التجارب الهيدروليكية، فإنه ليس هناك محتوى تجريبي يقترح قيماً ملائمة مقدماً.

والقياس الشائع للمقاومة، حالياً، هو معاملماننق n في كل الحالات. وتقترح NRCS في كتيبات التصميم الخاصة بها قيماً لظروف خطوط شريحة معينة (انظر الفصل الرابع عشر).

(١٣,٣،٢,٤) الاعتبارات ثنائية البعد – S_f كمتجه

مع كون قوة المقاومة متجهاً له اتجاه يتضاد مع اتجاه متجه سرعة التدفق، فإن اتجاه المتجه S_f يكون موجهاً في المعتاد لتضاد اتجاه قوة المقاومة، في الحالة أحادية البعد، في نفس الاتجاه مثل التدفق. وهذا أمر واضح في المعادلة رقم (١٣,٤)، التي تصلح للتدفق أحادي البعد في كلا الاتجاهين. وفي حالة التدفق ثنائي الاتجاه، فإنه يلزم التعبير عن العلاقات المناظرة بشكل أكثر تعميماً لأن مجرى الري، عند تدفقه حول المناطق العالية في سطح الحقل يمكن أن يأتي من أي اتجاه.

وفي حالة اتجاه ري افتراضي، ولكن في حالة الخشونة موحدة الخواص في كل الاتجاهات، والتي لا تعتمد على اتجاه التدفق، في نظام إحداثي ثنائي البعد $x_1 - x_2$، فإن المعادلة رقم (١٣,٥) يمكن كتابتها كما يلي:

$$q_1 = K\sqrt{S_f}\cos\theta_1 \quad \ldots \quad q_2 = K\sqrt{S_f}\cos\theta_2 \qquad (١٣,١٠)$$

والتي فيها، عندما $i = 1, 2$، فإن q_1 هو مكون اتجاه متجه التصرف لكل وحدة اتساع، و S_f كمية اتجاه متجه ميل الاحتكاك. وتكون K في هذه الحالة عدداً موجباً غير موجه، بدون انتساب لأي اتجاه. والزاوية θ_i تُعرف بأنها الزاوية بين اتجاه متجه S_f واتجاه المتجه x_i.

ويمكن أن يكون للحقل مقاومة أكبر في اتجاه أكثر من الاتجاه الآخر، فعلى سبيل المثال، عندما يتم حراثته بتموجات موازية لجانب واحد، أو عند نمو الحبوب المنثورة، بمقاومة أكبر للتدفق عبر صفوفها أكثر منها على امتداد طولها. وفي هذه الحالة، يجب عرض النقل ككمية ممتدة تتبع قيمها الأساسية مباشرة من قيم الخشونة الأكبر والأدنى التي تقابل التدفقات في اتجاهات مختلفة. وعندما تكون هذه القيم ليست متشابهة، فإن

ميل الاحتكاك لن يقع على نفس الخط مع اتجاه متجه التصرف، ولكنه سيكون منحرفاً عنه (Strelkoff *et al.*, 2003a).

(١٣,٣,٣) التسرب

يتم التعبير عن التسرب التراكمي على أنه عمق مياه السطح، z (الموقع الفعلي لجبهة البلل أسفل سطح التربة يعتمد على النفاذية ودرجة التشبع في التربة). ومن المفترض بشكل عام أن يكون التسرب التراكمي في مقطع الشريحة عبارة عن دالة في زمن فرصة التسرب فقط، لأي نوع من التربة عند أي محتوى مائي أولي. وفي ري الخطوط، يكون الحجم المترسب المتراكم لكل وحدة طول من الخط A_z، له وحدة المساحة. وعمق الحقل المحلي z يعطى بالعلاقة $z = A_z / B$، حيث B التباعد بين الخطوط. ولأن مساحة سطح التربة التي يحدث من خلالها التسرب - محيط البلل - تعتمد على العمق، فإن الأخيرة تؤثر كذلك، مبدئياً، على التخزين التراكمي.

ويوصف التسرب نظرياً بأنه الشرط الحدي في معادلة ريتشاردز للتدفق في وسط التربة غير المشبعة (انظر الفصل السادس). وفي الري السطحي، وقبل الانحسار، فإن كمية ضخمة من المياه المتاحة عند سطح التربة يتم تسربها إلى داخل وسط التربة. ومن العوامل الرئيسية في محاكاة الري السطحي هو الحجم المتسرب لكل وحدة طول من مجرى الري. ومن الممكن أن يتم تقارن معادلات التدفق السطحي لبعض الاختلاف عن معادلة ريتشاردز (Tabuada *et al.*, 1995; Skonard 2002; Zerihun *et al.*, 2005)، ولكن مثل هذا المنهج النظري مازال يتطلب معلومات تربة عملية تربط المحتوى المائي بالضاغط البيزومتري ومعامل التوصيل الهيدروليكي. فالتعقيد الرياضي للتقارب يستتبع، سوياً مع عدم التجانس وتباين الخواص الملحوظين لأنواع التربة الطبيعية (انظر Enciso-Medina *et al.*, 1998، للاطلاع على معالجة تقريبية لهذا)، اقتراح منهج تجريبي. والأمر الرئيس المتضمن هو التسرب التراكمي، كدالة في زمن الري، ومحيط البلل، والمسافة بين الخطوط. وهو أمر صحيح، حتى في حالة الري بالشريحة أو بالحوض، فعمق التدفق يلعب دوراً من خلال توفير بعض الضغط الموجب على سطح

التربـة، ولكـن لـه مقـدار صـغير، بزيـادة قـدرها ٢٪ في الامتـزاز (S في المعادلـة رقـم (١٣,١٣) اللاحقـة) لكـل سـنتيمتر مـن العمـق (Philip, 1969). وبالإضـافة لـذلك فـإن آثار الفترات المتعاقبة مـن جفـاف الميـاه وإعـادة البلـل لهـا أهميـة في نفـث التـدفق، ومـن المحتمل، مع بعض أنماط المنحنيات المائية الأخرى للتدفق، مثل توقف التدفق.

(١٣,٣,٣,١) التسرب التراكمي كدالة في زمن فرصة التسرب

مـن الـسمات الملحوظـة لدالـة التـسرب التراكمـي كدالـة في الـزمن هـي معـدل التسرب الكبير فـوق البلـل الأولـي، والـذي يتبعـه نقـص في المعـدل، والـذي يقـترب في المعتـاد مـن مقـدار ثابـت عنـد أوقـات التـسرب الكـبيرة. وفي ظـروف معينـة (وبـشكل تقليـدي، مـع التـشققات الرأسـية) فإنـه يـتم تـسرب حجـم كـبير بمجـرد أن تـصبح الميـاه متاحـة عنـد الـسطح. وهنـاك معادلـة توضـح كـل هـذه الـسمات وهـي تعـديل لمعادلـة كوستيكوف (Kostiakov, 1932; Lewis, 1937) على الشكل التالي:

$$z = k\tau^{a} + b\tau + c \qquad (١٣,١١)$$

والتي فيها z هي الحجم المتسرب لكل وحدة مساحة متسربة، و τ زمـن فرصـة التسرب، و k ، و a ، و b ، و c ثوابت عملية. وقـد قـام بيريـا وآخـرون Perea *et al.* (2003) بمقارنـة حـل معادلـة ريتـشاردز في التربـة الطفليـة الغرينيـة متحـدة الخـواص والمتجانسة بمعادلـة مناسـبة على هيئة المعادلة رقـم (١٣,١١). وفي هـذه الحالـة تتوافـق معادلة كوستيكوف المعدلة مع النتائج النظرية خلال نـصف مـم عبر مـدى زمـني قـدره من ١ دقيقة إلى ٢٠ ساعة.

إن معادلة كوستيكوف الأحادية الأصلية، $z = k\tau^{a}$ ، يتم استخدامها أحياناً في حالة التربة الطميية المتشققة المتنفخة والـتي لهـا قيمـة صـغيرة لـلأس a ، ولكـن عرضـاً أفضل للحقيقـة الفيزيائيـة هـو القيمـة غير الـصفرية للمعامـل c . والأكثر مـن هـذا، أن حالات المحاكاة العددية للتدفق السطحي بمثل دالة التسرب غير الخطية إلى درجة كبيرة تكون غير مناسبة ومسببة للمشاكل، حيث إن الحسابات تحـاول أن تتبـع شـكل "رجـل

الكلب" في المقطع الجانبي للتسرب. وتعد معادلة القانون الأسي مرضية غالباً بالنسبة للأزمنة المتوسطة في حالة التربة الطفلية أو التربة الرملية، ولكن بالنسبة للأزمنة الكبيرة، فإنها تتميز بمعدل تسرب غير سوي دائم الزيادة. إن معدل التسرب الكبير نسبياً والملاحظ عند الأزمنة الكبيرة يتحقق في الغالب بالمعادلة الأساسية من خلال افتراض قيمة كبيرة لـ a. وهناك عرض فيزيائي أفضل تحقق (Hartley, 1992) عن طريق دمج كل من القيمة غير الصفرية b وقيمة متوسطة لـ a، التي تقترب من القيمة النظرية والتي تساوي ٠,٥. وفي الحقيقة، فقد قام فيليب (Philip, 1969) بتطوير معادلة تسرب نظرية قائمة على التدفق غير المشبع في وسط التربة المتجانسة موحدة الخواص على صيغة:

$$z = S\tau^{1/2} + A\tau \qquad (١٣,١٢)$$

وبرغم أن S و A تعد ثوابت اعتماداً على منحنيات خصائص التربة، فإن المعادلة رقم (١٣,١٢) تقع ضمن مجموعة الدوال التي يتم وصفها بالمعادلة رقم (١٣,١١).

من المفترض غالباً أن المعدل الأساسي للتسرب يتحقق قرب نهاية الري ويمكن إيجاده عن طريق القياس اللحظي للتدفق الخارج Q_{ro} والتدفق الداخل Q_0، أي:

$$b = \frac{Q_0 - Q_{ro}}{LW} \qquad (١٣,١٣)$$

والتي فيها L تمثل طول الخط، و W المحيط الخارجي التمثيلي المبلل. ومع هذا من الجدير ملاحظة، أن مساهمة حد الأس في معادلة كوستيكوف في المعادلة رقم (١٣,١١) لمعدل التسرب يمكن أن تكون له أهمية كبيرة حتى بعد عدد كثير من الساعات (Strelkoff and Clemmens, 2001).

وتصف دالة كوستيكوف الفرعية (Clemmens, 1981) نوع التربة هذه التي تحقق معدل التسرب الأساسي بشكل أسرع مما هو موضح في المعادلة رقم (١٣,١١)، وبالتعديل عن طريق دمج حد ثابت، ينتج:

$$z = c + k\tau^{a} \;....\; \tau \le \tau_B \quad ، \quad z = c_B + b\tau \;....\; \tau > \tau_B$$

$$\tau_B = \left(\frac{ak}{b}\right)^{\frac{1}{1-a}} \quad ، \quad c_B = c + k\tau_B{}^{a} - b\tau_B \qquad (١٣,١٤)$$

وفي المعادلة رقم (١٣,١٤)، تمثل τ_B قيمة عبر زمن الإغراق، والذي يتوافق عنده معدل التسرب للفرع الأول مع المعدل الأساسي الأخير b ، و c_B الجزء المحصور على المحور- x من الفرع الثاني. وفي بعض الحالات يمكن افتراض بفاعلية أن الفرع الأول بأكمله (القانون الأسي) يحدث في الزمن صفر (بالنسبة للزمن الكلي للمحاكاة)، والذي يؤدي إلى معادلة تسرب من فرع واحد بسيطة بشكل استثنائي وتتكون من عمق تسرب ثابت على البلل الأولي متبوعاً بمعدل ثابت (Collis-George, 1974).

ويتمثل التعقيد المتوسط بين حلول معادلة ريتشارد والطابع العملي الخالص لمعادلات كوستيكوف في معادلة جرين وأمبت (Green and Ampt, 1911) (انظر أيضاً الفصل السادس وSkonard, 2002). وهذه المعادلة الضمنية للتسرب التراكمي تمثل حلاً تقريبياً لمعادلة ريتشارد، بافتراض أنه خلف مقدمة البلل، تكون التربة مشبعة، وأن محتوى التربة من المياه يظهر الانقطاع عبر هذه المقدمة. ويمكن حساب العوامل الثلاثة من نفس نوع القياسات المطلوبة للحل العام لمعادلة ريتشارد، ولكن من الممكن كذلك ملاءمة معلومات التسرب المقاسة لمتغيرات المعادلة.

وفي نشرة وزارة الزراعة الأمريكية (1974) USDA ، قامت هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS بتمييز التسرب في الشرائح والأحواض من خلال العضوية في

عائلة ما (والذي امتد لوصف الخطوط في USDA, 1985). ويتضمن المفهوم أن منحنى التسرب التراكمي مقابل الزمن لأي نوع من التربة ولأي محتوى مائي لها سيتلاءم ضمن واحدة من المناطق، أو العائلات، والتي يتم فيها تقسيم السطح $z-\tau$. وتتميز كل عائلة بدالة على صيغة $z = k\tau^{a} + c$، والتي تمر خلال منتصف المنطقة، والتي تُسمى بمعدل التسرب الأساسي للتربة (بالبوصة في الساعة). ولا تمثل القيمة- c في الصيغة SCS الدالية (الثابتة لكل العائلات) أي معنى فيزيائي، ولكن تم استخدامها كي تتلاءم على نحو أفضل مع المعلومات العملية. في الحين الذي تفشل فيه كثير من أنواع التربة في ملاءمة أي من العائلات (المنحنيات البيانية لمعدل ترسيبها التراكمي مقابل زمن فرصة التسرب يتقاطع مع عدد من عائلات SCS)، والتي تدمج بعضها بنجاح داخل المجموعة SCS. وإذا كانت التجربة تبرر وصف التربة بهذه الطريقة، فإن العائلات تسمح بالعرض البسيط للتسرب، مع قيم محددة مسبقاً لكل من k، و a، و c (انظر أيضاً الفصل الرابع عشر). وينتج أن هناك علاقة تربط بين k، و a من خلال:

$$k(a) = 60^{a}\left[14088\,a^{45} + \frac{0.148}{(-\ln a)^{1.652}}\right] \qquad (١٣,١٥)$$

حيث إن المنحنى العملي السابق يتوافق مع المعلومات المجدولة لـ NRCS (Valiantzas *et al.*, 2001).

وقام كل من ميريام وكليمنس Merriam and Clemmens (1985) ببناء أبحاثهما فوق مفهوم NRCS لعائلات التسرب وقاما بتطوير عائلات التسرب المعايرة زمنياً، محاولين البرهنة على أن الزمن المطلوب لتسرب العمق المستهدف هو المتغير الرئيس الذي يميز التسرب. ومع وجود قاعدة بيانات ضخمة لأنواع التربة المتشققة، فقد وجدا علاقة عملية عامة بين ثابت كوستيكوف a وزمن تسرب كمية مياه قدرها ١٠٠ مم:

$$a = 0.675 - 0.2125 \log_{10}(t_{100}) \qquad (١٣,١٦)$$

ويعمل القياس المنفرد لقيمة t_{100} ، وبقياس الزمن بالساعة لتسرب ١٠٠ مم، على توفير دالة التسرب التراكمية الكاملة لكوستيكوف، حيث إنه في حالة $k = 100/t_{100}{}^{a}$:

$$k = 10^{2-a\left(\frac{0.675-a}{0.2125}\right)} \qquad (١٣,١٧)$$

(انظر أيضاً الفصل الرابع عشر).

(١٣,٣,٣,٢) تأثير محيط البلل على التسرب

في الشرائح والأحواض، من الضروري أن يكون محيط البلل مستقلاً عن عمق التدفق. وفي الخطوط يعتمد سطح التسرب على العمق ويتغير مع كل من المسافة والزمن. وإذا كان يتم حساب التسرب نظرياً، مثلاً، عن طريق حل معادلات التدفق غير المشبع في التربة المنفذة (Schmitz, 1993a, b; Simunek *et al.*, 1999) التي تقرن بالمعادلات الهيدروديناميكية في مجرى التيار السطحي (Enciso-Medina *et al.*, 1998; Skonard, 2002)، فإن محيط البلل سوف يتم أخذه في الاعتبار تلقائياً. وحدود الدفق الجانبي لمياه التربة التي نشأت عن طريق التسرب من الخطوط المجاورة المبللة يتم معالجتها من خلال افتراض حد تدفق غير أفقي في منتصف المسافة بين الخطوط.

ولكن التسرب في حالات محاكاة الري السطحي يتم معالجته في الغالب كشرط حدي عملي على مجرى التيار السطحي. وفي حالة التسرب في الخطوط، ظهرت مدرستان لدراسته. فبعض النماذج في عملية الري السطحي تتوقع كمعلومات مدخلة معاملات معادلات التسرب العملية التي تعبر بشكل مباشر عن الحجم التراكمي لكل وحدة طول من الخط A_z ، كدالة في الزمن. وهذا يتضمن أن قياسات التدفق الداخل والتدفق الخارج قد تم أخذها من الخط، أو من خط مماثل، لتنتج معدلاً زمنياً لنمو الحجم المتسرب، ومن هنا، فإنها تعمل على دمج تشعبات أي محيطات خارجية مبللة

كانت موجودة عندما تم قياس التدفقات. ويتم الحصول على عوامل معادلة التسرب بوجه عام عن طريق قياس الحجم المتسرب المتزايد في مقطع الخط القصير الذي يحتوي على المياه عند عمق ثابت ما والذي يلائم بين البيانات والمعادلة، والآن، على سبيل المثال، التي على صيغة $A_z = K\tau^a + B\tau + C$ (في مقابل المعادلة رقم (١٣,١١)، على أن يمثل كل حد وحدات المساحة (الحجم لكل وحدة طول). ويتم عرض التسرب المقاس عندئذ كنتيجة لخواص التربة (والتي تشمل المحتوى المائي الأولي للتربة) وتفاصيل نظام الري (حجم، وشكل، وتباعد، وعمق التدفق الخاص بالخطوط، ... إلخ). ولكن كيف يجب أن يتم تكييف هذه البيانات لتنطبق على المياه عند، مثلاً، عمق مختلف، حتى لو كان ثابتاً، فهو أمر غير واضح.

وفي نماذج أخرى، تعتبر معلومات التسرب المدخلة دالة في خواص التربة وحدها، مع مساهمة نظام الري التي يتم حسابها من خلال النموذج. وتتكون البيانات المدخلة من عوامل المعادلة للحجم المتسرب لكل وحدة مساحة من التسرب (أي، z، العمق التراكمي للتسرب، كما في المعادلة رقم (١٣,١١))، كما في التسرب في الحوض. وبعدها يتم حساب الحجم المتسرب لكل وحدة طول من الخط، A_z، في حالة أعماق التدفق المتغيرة والمحيطات الخارجية المبللة لمجرى الري الذي يتم محاكاته (NRCS, 1984; Perea *et al.*, 2003).

وفي أي حدث، حالياً، من الضروري إدراك أن قيم المتغير في معادلات التسرب تكون معتمدة بشكل قوي على افتراض وجود محيط مبلل مصاحب له. وتعد الكمية الفيزيائية المهمة هي A_z – ففي حالة قيمة ما معطاة من A_z، سوف تكون العوامل أصغر بكثير في حالة محيط البلل الذي من المفترض أن يساوي تباعد الخط فضلاً عن، مثلاً، محيط البلل الأصغر بالفعل، الذي يعتمد على هيدروليكيا مجرى الري. ومن هنا، ففي حالة وجود تسرب فيزيائي ما، يجب أن تكون قيم المتغير متناسبة تقريباً عكسياً مع متوسط محيط البلل الذي من المفترض مصادفته في المحاكاة. ويجب ملاحظة أن هناك بعض الأدلة التجريبية على أنه بزيادة محيط البلل، يزداد التسرب بصورة أكبر

من التناسب (أو أقل)، مما يقترح أن يتم رفع أس محيط البلل إلى قوة أكبر من الوحدة (Blair and Smerdon, 1985)، أو أقل (Trout, 1992).

إن مغزى التغيرات الحادثة في محيط البلل، على امتداد طول جبهة الري المتقدمة، يعتمد على الظروف المصاحبة. فإذا كانت المقدمة تكوّن جزءًا هاماً من زمن الإضافة، فإن التغير في محيط البلل يمكن أن يكون له تأثير كبير على التوزيع النهائي للمياه المتسربة. وهذا التأثير يكون عند أدناه إذا كان هناك فترة طويلة من الجريان السطحي. ولكن ربما يكون هناك أيضاً اختلاف طويل المدى في محيط البلل بين أطراف الضاغط والمؤخرة على الخط، وبوجه خاص في حالة أنواع التربة المنفذة. وفي حالة التربة المحكمة، فعبر فترة طويلة من الجريان السطحي، إذا كان التدفق في الخط منتظماً بدرجة كبيرة، فإن محيط البلل سوف يكون ثابتاً بوجه خاص في الخط، وتقريباً يساوي محيط البلل عند العمق الطبيعي في حالة التصرف للتدفق الداخل. وفي حالة وجود تربة متشققة السطح بشكل كثيف تقوم بسحب المياه من التفريعات، فإن تغير محيط البلل مع العمق، مرة أخرى، ربما يكون له تأثير كلي بسيط على توزيع المياه المتسربة، فمحيط البلل الفعال يزاحم بشكل أساسي المسافة بين الخطوط. وقد أوضحت دراسة لبيانات مكثفة للحقول (Walker and Kasilingam, 2004) أن محيطات البلل قد فشلت في إظهار أي تغير مستمر مع أي من الزمن أو المسافة أثناء مسار عمليات الري، بما يؤدي إلى الشكوك حول أن التغيرات النظرية المدمجة التي تقوم على افتراض وجود مساحات مقطع ثابتة (في التربة الجافة) في مسار محاكاة الري، تعمل على توفير أي تحسينات متعلقة بالدقة.

(١٣,٣,٣,٣) تأثير إعادة البلل على التسرب

من الملاحظ منذ أمد بعيد أن الانحسار اللاحق للمياه من الخط، عند القيام بإعادة البلل، أن يكون معدل التسرب أصغر مما كان سيوجد إذا تم القيام بجعل الخطوط مبللة بشكل مستمر. وتم اقتراح العديد من الأسباب النظرية لهذا السلوك، والتي تشمل إعادة توزيع مياه التربة بعد عملية البلل الأولية، ولكن السبب الأكثر احتمالاً هو تماسك قوام التربة قرب السطح تحت تأثير الضغوط السالبة لمسام التربة عند

اختفاء المياه من على السطح. ومنذ أوائل الثمانينات فصاعداً، قد تم استخدام الري عن طريق إطلاق نبضات من المياه المضافة، مع السماح بحدوث الانحسار بين كل منها، للاستفادة من ميزة معدلات التسرب المتناقصة في حالة الاندفاعات المتعاقبة وتحقيق معدلات تقدم أسرع وإضافة أكثر انتظامية عبر الطول الكلي للخط الذي تم جعله مبللاً من قبل عند معدل التدفق الكلي.

ومن وجهة نظر المحاكاة، فإن بعض التقريبات وإن كانت كذلك تعمل على تقدير التسرب عند الرغبة في إعادة البلل، بدلاً من القيم المقاسة حديثاً بشكل مجمل بالنسبة للثوابت في معادلات التسرب لكل حالة اندفاع للمياه، أو للمقدمة المتجددة. ومن المحتمل أن تفشل الحلول النظرية لمعادلة ريتشاردز لتوفير تقديرات جيدة مالم يتم دمج بعض الاهتمام بقوام التربة المتماسكة في هذه الحلول. وقد تم اقتراح بعض النماذج العملية المتنوعة (مثل، Walker and Humpherys, 1983; Blair and Smerdon, 1984; Izuno and Podmore, 1985; urkey and Wallender, 1989). وهناك مزيد من الدراسات الحديثة (Palomo *et al.*, 1996) تقترح تعديلاً بسيطاً ودقيقاً (في حالة أنواع التربة التي تم اختبارها) على نموذج إيزونو وبودمور (Izuno and Podmore, 1985) في حالة أنواع التربة التي تم وصفها في المعادلة رقم (١٣,١٤). ومعادلة كوستيكوف للفرع الأول، في الحقيقة في حالة الاندفاع الأول للمياه، يتم استبدالها لكل الاندفاعات اللاحقة عن طريق معدل التسرب الثابت النهائي (الأساسي)، الجزء الثاني.

(١٣,٣,٤) المنحنى المائي للتدفق

في أبسط الحالات، يظل التدفق الداخل ثابتاً حتى إيقافه. وفي عملية خفض المعدل، يتم خفض التدفق، تقريباً إلى النصف، عندما يصل تيار الري إلى نهاية مجراه. وهناك أجزاء أخرى من الحجم المبدئي لتيار الري والأزمنة الأخرى التي تؤثر على خفض معدل التدفق يمكن أن تثبت أنها أكثر فاعلية ويمكن دراستها عن طريق عمليات المحاكاة. وهناك مسح لأنماط التدفق المختلفة المتعددة حيث إنها تؤثر على الانتظامية والكفاءة (Alazba and Fangmeier, 1995) توفر مثالاً للدراسات الضرورية حول تأثير

أشكال المنحنيات المائية على الأداء وكيف يمكن تحقيقها بطريقة عملية، بدون الحاجة لعمالة مكثفة.

وخلال عملية دفق المياه، فإن نبضات التدفق (التي تكون عادةً بكميات متساوية وبفترات دوام متزايدة) يتم إطلاقها، مع وجود نية قطع كل دفقة كزيادات ثابتة متوالية للطول الكلي من المجرى الذي يتم ريه. ويتم تصميم صمامات الدفق التجارية بصمام على شكل فراشة ليعمل على غلق المياه لواحدة أو غيرها من مجموعتين من الخطوط، فيكون وقت فتح إحدى المجموعتين مناظراً لزمن غلق المجموعة الأخرى. وهذه الصمامات التي تعمل باستخدام المؤقت هي أجهزة ضرورية، يتم برمجتها لتقدير فترات استمرار النبضة المتزايدة. وبعد اكتمال التقدم، يبدأ نبض أكثر أو أقل سرعة (مكون من دورات طولها ٣٠ دقيقة) بين كلا الجانبين فيما يسمى بطور خفض المعدل، حتى التوقف التام في النهاية. ولا يتم خدمة مجموعتي الخطوط بمنحنيات تدفق مائية متساوية، لأن أحد الجوانب يقوم بخفض المعدل فوراً بعد اكتمال التقدم، في حين تعمل التوقفات الأخرى بعد تقدمها الأخير، المناظر للزيادة في التقدم الأخير لما يضادها (انظر، مثلاً، عينة من محاكاة الدفق في Strelkoff *et al.*, 1998).

وتعمل طريقة استخدام السد بالسلك (Kemper *et al.*, 1981) على توفير الخفض التدريجي للتدفق لمجموعة من الخطوط يتم تغذيتها من أنابيب من خلال بوابات والذي يتم من خلال دفع سدادة باستخدام سلك. وقد تم دمج برامج الحاسب (Kincaid and Stevens, 1992) التي تستخدم لتصوير المنحنى المائي الناتج في الخط مع برامج المحاكاة (انظر، مثلاً، حالات محاكاة استخدام السد بالسلك في Strelkoff *et al.*, 1998).

(١٣,٣,٥) تقدير المعاملات المستقلة

يمكن قياس المعاملات الهندسية بالنسبة لمدخلات المحاكاة أو التصميم في الحقل باستخدام المساطر، وأشرطة القياس، وأجهزة المسح، ومسواة المساح. ويجدر ملاحظة أن أي قياس لمسواة المساح عند القيام بمسح ارتفاعات سطح الحقل (أو قاع

خط) باستخدام معدات المسح القياسية من المحتمل وجود خطأ بها على الأقل بما يساوي ٣ مم.

ويتم الحصول على قياسات التدفق بشكل ملائم ودقيق عن طريق وسائل قنوات الصرف الاصطناعية طويلة العنق حرجة العمق التي يسهل إنشاؤها، والتي تكون متاحة تجارياً بأحجام كثيرة، ولا تتطلب أن يتم معايرتها لا في الحقل ولا في المختبر (Clemmens *et al.*, 2001b).

وإن التوقعات النظرية للتسرب تتطلب قياس منحنيات خصائص التربة (الفصل السادس)، ولكن في معظم الحالات، يتم القيام بالحسابات العملية للعمق المتسرب، أو الحجم لكل وحدة طول من الخط، كدالة في الزمن. ويمكن القيام بعمل القياسات المباشرة باستخدام أجهزة قياس التسرب الحلقية (التي من المفضل أن تكون مزودة بمخفف للصدمات)، ولكن نتائجها، عند واحدة أو بضع نقاط في الحقل، يكون لها قيمة محدودة في توقع كم سيكون مقدار متوسط التدفق، تحت المياه المتدفقة على وجه التحديد. وبوجه عام فبسبب تأثير المياه الجارية على قوام التربة، فإن أجهزة قياس التسرب على الخطوط التي تتدفق عليها المياه تكون مفضلة أكثر من أجهزة قياس التسرب في الخطوط التي تقوم المياه بتكوين بركة فوقها، والتي تقوم في المعتاد بالتقليل من قيمة التسرب أثناء عملية الري الفعلية. وحيث يكون من الضروري القيام بقياس أعماق المياه لتقدير التسرب، مثلاً في الأحواض الكبيرة المستوية، فإن أجهزة القياس مزدوجة المنبع ذات العوامات الخاصة بكل من كليمنس وديدريك Clemmens and Dedrick (1984) تسمح بالقيام بهذا من على مسافة بعيدة، بشكل سهل ودقيق.

وقد تم اكتساب قدر كبير من الخبرة خلال العشرين عاماً الأخيرة في تقدير التسرب والخشونة من قياسات الري الكامل للخطوط والشرائح، أو أثناء فترة التقدم. ولأن هذه التقنيات تقوم في الغالب باستخدام واحدة أو أكثر من طرق المحاكاة للقيام بالتقييم، فقد تم تأخير عرض الموضوع حتى الجزء رقم (١٣,٧) بعد القيام بعرض المحاكاة الرياضية للري السطحي.

(١٣,٤) قوانين حفظ الكتلة وكمية الحركة

(١٣,٤,١) اتزان حجم المياه

عندما تتدفق مياه الري لأسفل القناة، فإن جزءًا منه يتسرب داخل التربة المحيطة وجزءًا منها يتقدم للأمام – ليتسرب أكثر لأسفل القناة أو لينصرف عند نهاية الحقل على هيئة جريان سطحي – وعندها لابد من الحفاظ على الاتزان الحجمي: فكل المياه التي تدخل الحقل من المدخل يتم حسابها في كل الأوقات. وعند أي مرحلة من العملية، فإن جزءًا من الحجم الكلي المتدفق قد يتسرب داخل التربة، وبعضاً منه يتبخر[٢]، والبعض يتم (بشكل مؤقت) تخزينه على السطح، والبعض من المحتمل أن يكون قد حدث له جريان سطحي. وهذا الحساب يعد إيضاحاً للمبدأ الفيزيائي قانون حفظ الكتلة. لأن المياه تظهر انضغاطاً بسيطاً في سياق الري السطحي، ويتم ترجمة قانون حفظ الكتلة إلى حفظ الحجم. وبدلالة الأحجام الكلية، يمكن التعبير عن الاتزان رياضياً كما يلي:

$$\forall_Q(t) = \forall_Y(t) + \forall_Z(t) + \forall_{RO}(t) \qquad (١٣,١٨)$$

والتي فيها $\forall_Q$ حجم التدفق، و $\forall_Y$ الحجم على السطح، و $\forall_Z$ الحجم المتسرب، و $\forall_{RO}$ حجم الجريان السطحي، عند أي زمن t منذ بداية الري. وتكون المعادلة رقم (١٣,١٨) صالحة بدرجة متساوية في حالة المعادلة أحادية أو ثنائية الأبعاد. وفي المعادلة رقم (١٣,١٨):

$$\forall_Q(t) = \int_0^t Q_0 \, dt \qquad (١٣,١٩)$$

والتي فيها Q_0 معدل التدفق. وبعد اكتمال التقدم، يبدأ حجم الجريان السطحي في التراكم، عند معدل $Q_{RO}(t)$:

(٢) يتم بشكل عام إهمال التبخر، ويعد تأثير الهواء ودرجة حرارة التربة أكثر وضوحاً بكثير في التأثير على لزوجة المياه ومعدل التسرب أكثر من تأثيره في التبخير الهام هيدروليكياً.

$$\forall_{RO}(t) = \int_0^t Q_{RO}\ dt \qquad (١٣,٢٠)$$

وفي مقابل التدفق، يكون الجريان السطحي متغيراً بدرجة كبيرة عادةً. ويساوي الصفر أثناء التقدم التام، ويرتفع بشكل سريع حتى الكتف، ويواصل الارتفاع تدريجياً بتناقص معدلات التسرب مع الزمن، وفي النهاية يعود إلى الصفر بشكل تدريجي تقريباً بعد توقف التدفق.

وفي المسار أحادي البعد، يُعطى الحجم السطحي بالعلاقة:

$$\forall_Y(t) = \int_0^{x_A(t)} A_Y(x,t)\ dt \qquad (١٣,٢١)$$

والتي فيها A_Y الحجم لكل وحدة طول، أو مساحة المقطع، من سطح مجرى التيار السطحي، و x_A مسافة التقدم. وبعد اكتمال التقدم، تكون $x_A = L$، أي طول المجرى. وبالمثل يكون الحجم المتسرب هو:

$$\forall_Z(t) = \int_0^{x_A(t)} A_Z(x,t)\ dt \qquad (١٣,٢٢)$$

والتي فيها A_Z يساوي الحجم المتسرب لكل وحدة طول. وإذا كان من المفترض أن يكون التسرب دالة فقط في زمن البلل (مع إهمال تأثير الضغط الهيدروستاتيكي المتغير أو محيط البلل)، ويمكن كتابة المعادلة رقم (١٣,٢٢) كما يلي:

$$\forall_Z(t) = \int_0^{x_A(t)} A_Z(t - t_A[x])\ dt \qquad (١٣,٢٣)$$

(بفرض أن x_A لا تقل أبداً مع t)، و t_A زمن التقدم إلى المسافة x.

(١٣,٤,٢) ديناميكية المياه

من الأمور التي لها أهمية مساوية في التحكم بمجرى تيار الري هو التفاعل الديناميكي بين قوى الجاذبية ومقاومة التدفق. وتتضح قوى الجاذبية بطريقتين: بشكل مباشر، كمكون الحقل السفلي لوزن المائع، الذي يعتمد على كل من عمق المياه وميل القاع، وبشكل غير مباشر (من خلال توزيع الضغط الهيدروستاتيكي رأسياً) كنتيجة لتدرج العمق، الذي يمكن أن يوجد إذا لم يكن سطح المياه موازياً للقاع. وجانباً تأثير الجاذبية ينعكسان على ميل سطح المياه، S_0 : فلو كان أفقياً، تكون قوة جاذبية الحقل السفلي صفراً، وتقوم المياه بتكوين بركة، ويكون التدفق صفراً.

وعندما يكون سحب الجاذبية لأسفل على مقطع عرضي من مجرى تيار الري، $\rho g A_Y S_0$ لكل وحدة طول (مع العلم أن ρ هو كثافة الكتلة)، متوازناً تماماً بالسحب لأعلى على جدران القناة والكساء الخضري، $\rho g A_Y S_f$ لكل وحدة طول، فإن التدفق يكون متوازناً ومنتظماً، عند عمق ثابت، يسمى بالعمق الطبيعي. وفي قناة ما، يكون العمق الطبيعي مرتبطاً بشكل مباشر بمعدل التدفق، من خلال إحدى المعادلات العملية لمعامل شيزي C ، مثلاً، المعادلة رقم (١٣,٦):

$$Q = \frac{c_u}{n} A_Y R^{2/3} \sqrt{S_0} \qquad (١٣,٢٤)$$

طبقاً للمعادلة رقم (١٣,٤)، مع اعتبار $S_f = S_0$.

وإذالم تكون قوى الجاذبية وقوى السحب في حالة اتزان، يكون هناك تدرج في القاع، وتزداد سرعة المياه أو تقل. وفي معظم حالات الري السطحي، مع هذا، تكون سرعات التدفق صغيرة جداً لدرجة يمكن معها إهمال التغيرات المؤقتة الحادثة لها، وبالتالي، تكون في وزن المائع، وعمق التدرج، والحد، وسحب النبات في حالة اتزان (انظر الجزء رقم ١٣,٦,٧).

ويمكن كتابة العلاقات التكاملية التي تشبه تلك التي تم تطويرها لأجل قانون حفظ الكتلة بالنسبة لقانون حفظ كمية الحركة في مجرى تيار الري بأكمله، ولكن

معادلات الديناميكا يتم استخدامها عادةً لوصف شرائح المجرى السطحي في منهج المحاكاة الهيدروديناميكي (انظر الجزء رقم ١٣,٦). وبالإضافة لذلك، يفترض إجراء النمذجة الهيدرولوجية بوجه عام للعمق الطبيعي عند المدخل.

(١٣,٥) النمذجة الهيدرولوجية لعملية الري السطحي

يتعرض مجرى تيار الري إلى نفس كمية التحليلات التي يتم القيام بها لمحاكاة تدفقات القناة والنهر، والاختلاف الأكبر هو التأثير القوي للتسرب والتقدم فوق القاع الجاف. ولكن لتجنب العمليات الرياضية المعقدة للمنهج الهيدروديناميكي، فإن الافتراضات المعقولة للحجم والشكل يتم أحياناً فرضها على المجرى السطحي أو قطاعات التسرب الجانبية، كما هو مذكور لاحقاً. وعند هذا، فإن تطبيق قوانين حفظ الكتلة وحدها يؤدي إلى سلوك مجرى التيار. وللمدى الذي تكون فيه التعديلات وفقاً للافتراضات، فإن النتائج يمكن أن تكون بنفس جودة حالات المحاكاة الهدروديناميكية، مع التقليل الشديد للمجهود الحسابي والمزيد جداً من النمذجة الصعبة. وعلاوة على هذا، فإن بساطة المعادلات تجعل منها مرشحات أفضل من المعادلات الهيدروديناميكية لحل المشكلات العكسية - تقدير التسرب والمقاومة من مشاهدات التدفق، أو إيجاد عوامل التصميم بالنسبة لمستوى أداء محدد. ولكن، إذا لم يكن هناك أساس فيزيائي جيد لهذه الافتراضات، فيمكن أن يكون بالنموذج الهيدرولوجي خطأ كبير، برغم أنه يظل صعباً واقتصادياً. وفي الجزء الحالي، يتم عرض تقنيات النمذجة الهيدرولوجية، وصلاحية، وصحة الافتراضات الموضوعة، وفي أغلب الأحيان، سيتم تأجيلها حتى يتم مناقشة النمذجة الهيدروديناميكية، حيث يتم أخذ النتائج حينئذ كمقياس للمقارنة.

(١٣,٥,١) مقدمة للمحاكاة الهيدرولوجية - نموذج واضح وبسيط

كما هو ملاحظ يقع قانون حفظ الكتلة أو الحجم، أي، اتزان الحجم، في قلب أي محاكاة منطقية لتدفقات الري السطحي. وفي المعادلة أحادية البعد، أثناء التقدم، يمكن التعبير عن المعادلة رقم (١٣,١٨) كما يلي:

$$\overline{Q}_0 t = x_A \widetilde{A}_Y + x_A \widetilde{A}_Z \qquad (١٣,٢٥)$$

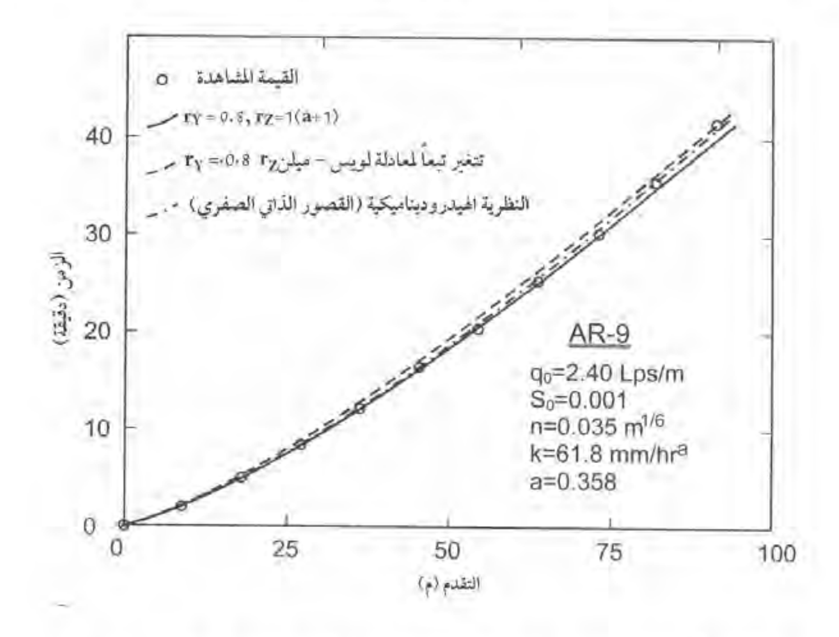
والتي فيها x_A مسافة تقدم مجرى التيار حتى زمن t ، و$\widetilde{A}_Y(x,t)$ متوسط حجم مجرى التيار المائي لكل وحدة طول (مساحة مقطع التدفق)، و$\widetilde{A}_Z(x,t)$ متوسط الحجم المتسرب لكل وحدة طول، ويتم عرض المتوسطات الزمنية كأنها مسدودة، بينما يتم التعبير عن متوسطات المسافة عبر طول مجرى تيار الري من خلال وضع علامة التقريب فوقها. وفي الوقت الذي يستمر فيه التدفق، أي، طالما لا ينخفض عمق منبع السريان إلى الصفر، فيمكن كتابة المعادلة رقم (١٣,٢٥) لدالة التقدم كما يلي:

$$x_A = \frac{\overline{Q}_0\, t}{r_Y A_Y(0,t) + r_Z A_Z(0,t)} \qquad (١٣,٢٦)$$

والتي فيها r_Y وr_Z معاملا الشكل في حالة المقاطع الجانبية السطحية وتحت السطحية، على الترتيب، أي، نسب متوسط مساحة المقطع إلى مساحة مقطع منبع السريان. وإذا تم القيام بالتقديرات لحدود المقام الأربعة، فإن المعادلة رقم (١٣,٢٦) تصبح معادلة واضحة وبسيطة للتقدم. ويمكن حساب $A_Z(0,t)$ ، في حالة $x = 0$ عند $t = \tau$. وفي قناة تدفق متوسطة الانحدار، فإن عمق منبع السريان يرتفع بسرعة حتى العمق الطبيعي، منتجاً A_Y . وبفرض وجود الشكل المحدب بوجه عام لمقاطع مجرى المياه والتسرب الجانبية، فإن مدى الاحتمالات لمعاملات الشكل تساوي من ٠,٥ إلى ١. ويمكن افتراض أن كلا من المقاطع الجانبية السطحية وتحت السطحية قوانين قوة أحادية في مسافة العودة من مقدمة الموجة. وأثناء التقدم، يكون المقطع الجانبي للموجة غير حاد تماماً قرب المقدمة. وهذا يقترح وجود أس في قانون القوة. والاختيار العشوائي للقيمة ٤/١ بالنسبة للقوة ينتج معامل شكل r_Y يساوي ٠,٨ (انظر الجزء رقم (١٣,٦,١٢) لأجل القيم النظرية). وفي وجود $z(\tau)$ التي تعطى بمعادلة كوستيكوف، فإن افتراض معدل التقدم الثابت يؤدي إلى الأس a بالنسبة لقطاع التسرب الجانبي،

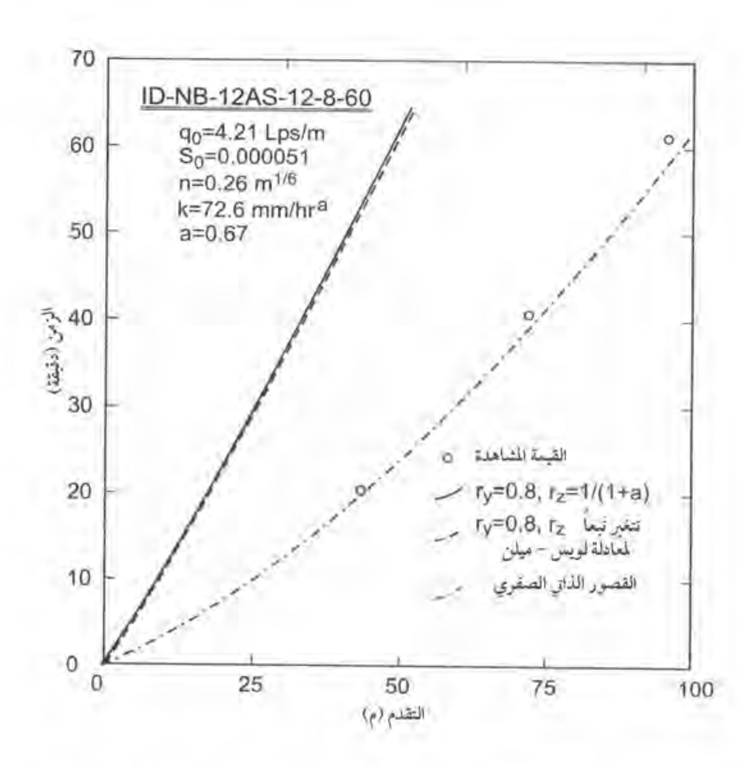
ومعامل الشكل المناظر $1/(1+a)$ (الذي يعد صحيحاً نظرياً بالنسبة للمسافات الصغيرة من طرف المقطع الجانبي المتقدم: Katopdes and Strelkoff, 1977a). ويتم حساب الجانب الأيمن من المعادلة رقم (١٣,٢٦) لأي زمن تقدم t.

وكمثال، يتم تطبيق هذه الافتراضات لاختبار الحقل في مقطع الشريحة (AR-9: Roth *et al.*, 1974). وتؤدي معاملات الري (انظر الشكل رقم ١٣,١) إلى أن y_0 تساوي ٠,٠٢٨٥ م، و $\bar{y}$ تساوي ٠,٠٢٣ م، و r_Z تساوي ٠,٧٤. وتمثيل المعادلة رقم (١٣,٢٦) في هذه الحالة عبر مدى من الزمن يتم إيضاحه بالخط المتصل في الشكل رقم (١٣,١)، مع إظهار المسار المنحني للتقدم المقاس على شكل دوائر مفتوحة. وهناك أيضاً توضيح للحلول باستخدام طرق أكثر صعوبة محددة في الأجزاء اللاحقة. ومن الواضح في هذه الحالة، أنه ليس هناك كم كبير من الاختلاف باستخدام طرق متنوعة للحل، وكلها تتوافق بشكل جيد مع المشاهدات.



الشكل رقم (١٣,١). مقارنة بين النظرية والتجربة في الشريحة على التدرج المتوسط.

ولكـن لا يتم التوافـق مـع الافتراضـات المـذكورة سـابقاً علـى نحـو دائـم. وقـد تم القيـام باختبـار ID-NB-12AS-8-60 (Bondurant, 1971) في مقطـع الـشريحة الـذي لـه ميل صغير جداً وبه نمو كثيف للبرسيم الحجازي. وهـذه الحالـة (الـشكل رقـم ١٣,٢) تتميز بأن y_0 تساوي ٠,٣٢٥٣ م، وr_Y تساوي ٠,٨ م، و r_Z تساوي ٠,٦. وينتج من حل المعادلة رقم (١٣,٢٦) المنحنى المتصل، الـذي يختلـف كـثيراً عـن الـدوائر المفتوحـة للتقدم الملحوظ. وقد حث التعارض الكبير بين النتائج المحسوبة والمشاهدة على كثير مـن الدراسات التي تم تكريسها لمحاكاة الـري الـسطحي. ونتـائج هـذه الجهـود المحـددة تظهـر كمنحنيات مقطعة ومنحنيات مقطعة-منقطة على الشكل، وسيتم شـرحها في الأجـزاء التالية أرقام (١٣,٥,٢)، و(١٣,٦,١٢).



الشكل رقم (١٣,٢). مقارنة بين النظرية والتجربة في شريحة مستوية تقريباً.

(١٣,٥,٢) معادلة لويس ميلن

أدرك لويس وميلن Lewis and Milne (1938) أن التسرب دالة في زمن البلل وحده، وأن المقطع الجانبي تحت السطحي يعتمد فقط على دوال التسرب والتقدم في الزمن. وتعد r_Z دالة في $x_A(t)$، ومع كون التسرب دالة في الزمن المعطى، فإنه يمكن عرض المعادلة رقم (١٣,٢٥) كتعبير واضح عن التقدم، مما يحد من الاختيارات العشوائية السابقة. وفي الحقيقة، ففي حالة زمن البلل الذي يبلغ $\tau(x,t)=t-t_A(x)$ فإن:

$$\overline{Q}_0 \cdot t = \widetilde{A}_Y \cdot x_Z + \int_0^t A_Z(t-t_A)\frac{dx}{dt_A}dt_A \qquad (١٣,٢٧)$$

وبرغم أن المعادلة رقم (١٣,٢٧) تصلح تماماً لحالات معدودة تم افتراضها، إلا أنها تحتوي على كثير من المجاهيل العديدة لحل دالة التقدم، وعلى وجه التحديد، المتغير الغير معلوم $A_Y(x,t)$ والتي منها يمكن الحصول على متوسط المسافة، $\widetilde{A}_Y(t)$. وبدون التقدير المنطقي (أو العشوائي) لهذا، أو لأي من المعاملين $A_{y0}(t)$ و$r_y(t)$، يصبح المزيد من التقدم مستحيلاً.

(١٣,٥,٣) متوسط مقطع مجرى التيار المفترض

عند تطبيق المعادلة رقم (١٣,٢٧) في المنهج الذي يطلق عليه بالخطأ اتزان الحجم (لأن كل منهج منطقي للمحاكاة يتضمن اتزان الحجم)، فمن المفترض عادةً وجود القيمة $\widetilde{A}_y$، بناءً على العمق الطبيعي عند التدفق والمعروف سابقاً - كما في الحساب البسيط والواضح في الجزء رقم (١٣,٥,١). وقد تم نظرياً إيضاح أنه (Katopodes and Strelkoff, 1977a) قريباً من مقدمة مجرى تيار الري مع وجود قيمة مهملة للتسرب ولمعامل ماننق للخشونة، فإن أس القانون الأسي للمقطع الجانبي يساوي ٧/٣. وقد وجد تيني وباسيت Tinney and Bassett, (1961) شكلاً طرفياً

للقطاع، مع التدفق المستقر وعدم وجود تسرب، الذي يتبع قانون المماس زائدي المقطع على مدى طولها الكلي، الأكثر بعض الشيء من ٣/٧ من القانون الأسي والذي يكون أقرب لقوة مقدارها ١/٤. أما التربة التي يكون بها تسرب ضخم، من ناحية أخرى، يمكن أن يؤدي إلى عمق يزداد خطياً تقريباً مع المسافة من مقدمة مجرى التيار. وفي أي حدث، كلما كان التسرب أكبر، كان الأمر أقل ضرورة لتقدير $\tilde{A}_y$. وفي الواقع، إذا استمر التقدم لفترة زمنية طويلة بدرجة كافية في قناة مائلة، فإن كلا من A_{Y0} و r_Y تكونان محدودتين، في حين أن A_Z تنمو في العادة بلا قيد. وفي مثل هذه الحالات، يصبح التقدم غير حساس نسبياً للافتراض الموضوع لـ $\tilde{A}_y$.

واقترح لويس وميلن حلولاً للعديد من دوال التسرب $z(\tau)$، وقد تم بالفعل حل الحالة الأبسط، في حالة $I = dz/d\tau$ ويساوي ثابتاً، من قبل إزرائيلسن Israelsen, (1932). وفي هذه الحالة، يمكن استبدال المعادلة رقم (١٣,٢٧) بالمعادلة التفاضلية:

$$Q_0 \cdot dt = \tilde{A}_Y \cdot dx_A + W \cdot I \cdot x_A \cdot dt \qquad (١٣,٢٨)$$

باستخدام الحل:

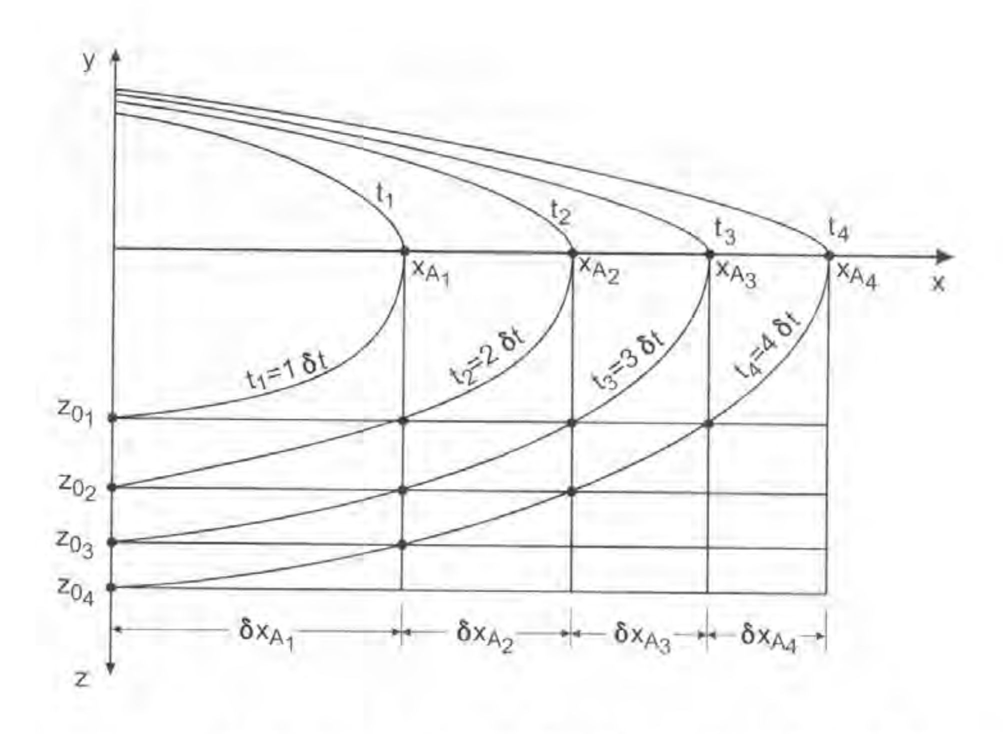
$$x_A = \frac{Q_0}{W \cdot I}\left(1 - e^{-\frac{W \cdot I t}{\tilde{A}_Y}}\right) \qquad (١٣,٢٩)$$

مما يتضح منه أن التقدم يتحدد بشكل ضروري بالقيمة $Q_0/(W \cdot I)$.

ولكن التسرب الأكثر معقولية كما في معادلة كوستيكوف $z = k\tau^a$ لم يتم دمجه لما يزيد على ٢٠ عاماً. وأحد المخططات الأولى، للأشكال العامة من معادلة التسرب تم عرضها من قبل هول Hall, (1956)، الذي تعامل مع (الالتفاف) التكامل في المعادلة رقم (١٣,٢٧) بشكل رقمي.

(١٣,٥,٤) تقنية هول التعاقبية

يوضح الشكل رقم (١٣,٣) العلاقة بين $z(x,t)$ وبين $z(0,t)$، وتم رسم المقاطع الجانبية بالنسبة للفترات الزمنية المتعاقبة، والتي يفصل بينها فاصل زمني قدره δt. وبمجرد معرفة $z(\tau)$، فإن الخطوط التي يتم تعليمها بالرموز z_{01}، و z_{02} .... إلخ، تمثل المواقع المتعاقبة لمقدمة مجرى تيار الماء (وإن يكن غير معروف)، عند أزمنة $t = \delta t$، و $t = 2\delta t$، و $t = 3\delta t$ ... إلخ. ويتبع هذا (Hall, 1956) أنه يمكن إنشاء المقاطع الجانبية تحت السطحية المتعاقبة عن طريق توصيل الأركان المتقابلة للمستطيلات الناتجة كما هو مبين (ويتطلب الري بالخطوط إهمال تأثير محيط البلل المتغير على A_z أو z).



الشكل رقم (١٣,٣). التسرب التراكمي أثناء التقدم. ويتم الفصل بين خطوط الزمن بالثابت δt.

وفي الواقع، فمع وجود $z_{k,i}$ تمثل الدالة $z(x_k, t_i)$، على أن يتم اختيار x_k كنفس المواقع المتعاقبة لطرف المقدمة x_{Ai}، عند هذا تكون $z_{k,i} = z_{0,i-k}$. ويتبع هذا أن يكون التغير، الذي يحدث على مسافات فاصلة متساوية، للتكامل الالتفافي يمكن تقريبه رقمياً، وبهذا فإن زيادة التقدم في الخطوة الزمنية يساوي:

$$\delta x_{Ai} = \frac{Q_i \cdot \delta t - \sum_{k=1}^{i-1} \frac{A_{z_{0,i-k+1}} - A_{z_{0,i-k-1}}}{2} \delta x_k + \left(r_{z_T} - \frac{1}{2}\right) A_{z_{0,1}} \delta x_{A_{i-1}}}{r_y A_{y_0} + r_{z_T} A_{z_{0,1}}} \quad (١٣,٣٠)$$

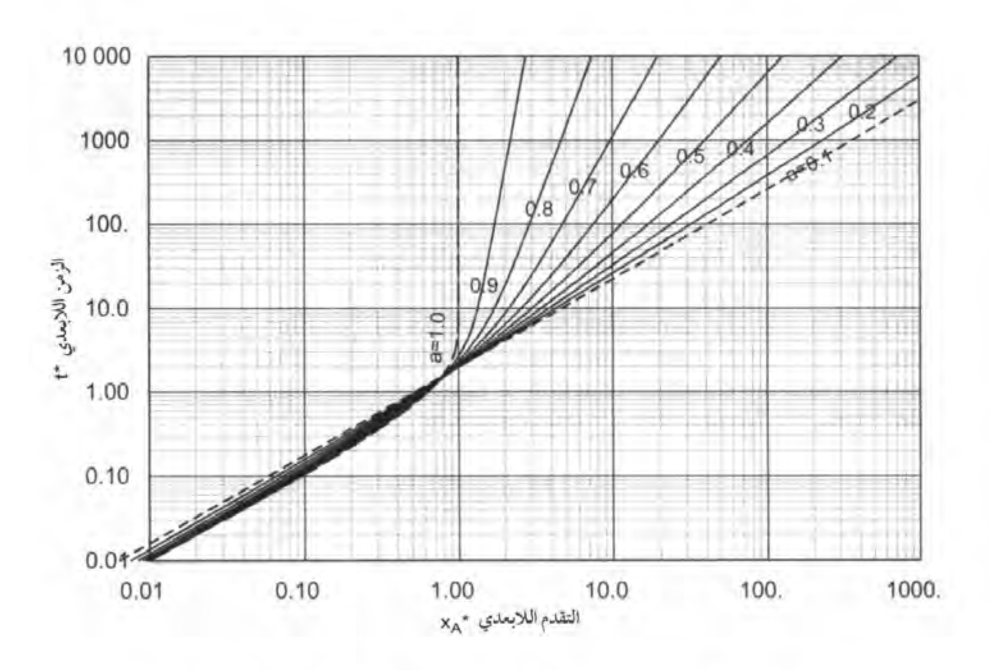
وصيغة هول (1956) Hall, التي قام بتصحيحها العذبه وسترلكوف Alazba and Strelkoff (1994)، التي فيها r_{zT} معامل الشكل في الخلية الطرفية من المقطع الجانبي للتسرب تحت السطحي.

(١٣,٥,٥) حلول معادلة لويس وميلن في حالة ثبات متوسط مقطع تيار التدفق

أحد المناهج القياسية للتعامل مع التكاملات الالتفافية يكون من خلال تحويلات لابلاس (Boas, 1966; Philip and Farrell, 1964; Lenau, 1969)، ومن بين الجهود الأخرى لحل معادلة لويس وميلن التكاملية، استنتج هارت وآخرون Hart *et al.* (1968) نسخة لا بعدية لمعادلة كوستيكوف، التي يتم حلها عن طريق الحل العددي بدقة يمكن التحكم بها، في حين قام كولي-جورج Collis-George (1974) بتطوير حل مغلق الشكل للفرع الثاني من دالة كوستيكوف-كلمنس الفرعية.

ويبين الشكل رقم (١٣,٤) فكرة عامة لحلول معادلة لويس وميلن في وجود المتوسط الثابت لعمق مياه السطح ومعادلة التسرب لكوستيكوف. ويسمح التمثيل اللابعدي بأن يتم عرض كل الحلول في عائلة واحدة من الأشكال البيانية. وفي هذا التمثيل، حيث $t^* = t/T_R$، و $x_A^* = x_A/X_R$، ويكون فيه:

$$T_R = \left(\frac{\tilde{A}_y}{B_0 k}\right)^{1/a} \qquad X_R = \frac{Q_0 T_R}{\tilde{A}_y} \qquad (١٣,٣١)$$



الشكل رقم (١٣,٤). التقدم بمتوسط عمق سطحي ثابت (تسرب كوستيكوف).

وتم الحصول على كل نقطة من خلال التكامل العددي لتكامل محدد تم استنتاجه من قبل لينوي (1969) Lenau، فيما عدا ما يخص المنحنى عند قيمة a تساوي الواحد الصحيح، الذي يمثل معدل تسرب ثابت. ولهذا السبب، تم تمثيل المقابل اللابعدي للمعادلة رقم (١٣,٢٩) بيانياً. والحد الأدنى لقيمة a تساوي صفراً، غير موضح لأنه في هذه الحالة يصبح زمن المرجع غير محدد، وينهار التقليل المختار للصيغ اللابعدية. وفي الحدود التي لها أبعاد، يكون التقدم في حالة قيمة a تساوي صفراً، معطى بالعلاقة:

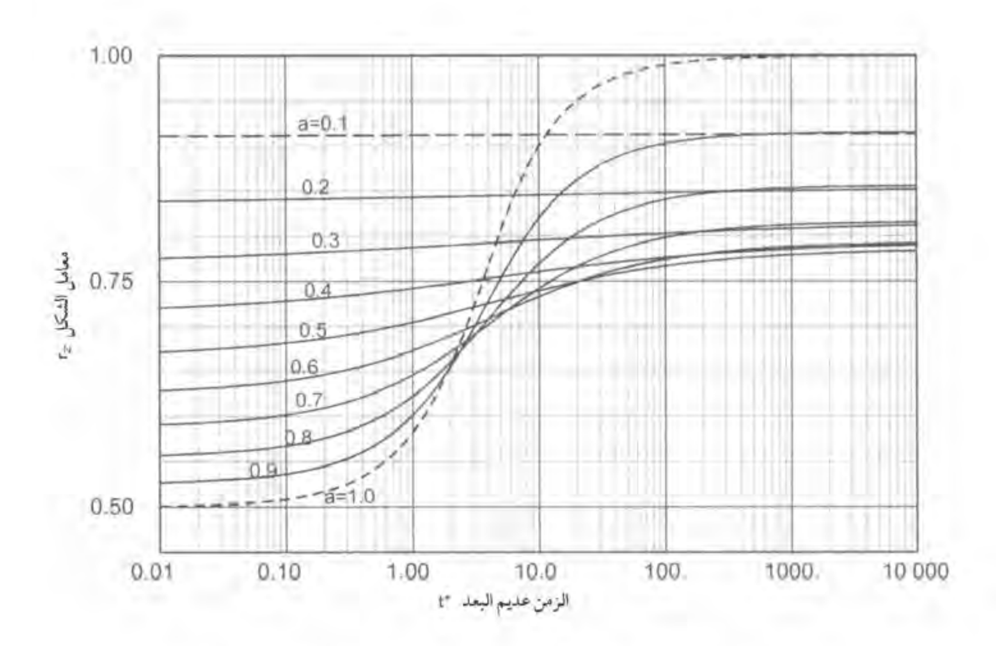
$$x_A = \frac{Q_0}{\widetilde{A}_y + B_0 k} \qquad (١٣,٣٢)$$

والتي فيها k عمق التسرب اللحظي عند إضافة المياه (كما في حالة التربة المتشققة فوق طبقة من التربة الطينية الصلبة).

ويعد الشكل رقم (١٣,٥) نفس الفكرة العامة، حيث إنه يوضح التغير المناظر في معامل شكل المقطع للتسرب (مما سيؤدي إلى تقدير أكثر دقة للتقدم، باستخدام المعادلة رقم (١٣,٢٦) أكثر من المعادلة رقم (١٣,٤). وتكون قيم r_z المحددة التي يتم استنتاجها نظرياً هي (Hart *et al.*, 1968):

عند الأزمنة الصغيرة $r_z = \frac{1}{1+a}$ ، عند الأزمنة الكبيرة $r_z = \frac{a\pi(1-a)}{\sin(a\pi)}$ (١٣,٣٣)

ويقترح الحدان المعلومان عدداً من المنحنيات التي تلائم المناهج لاستبدال البيانات المعطاة بيانياً في الشكل رقم (١٣,٤) والشكل رقم (١٣,٥) عن طريق خطوات العمل التحليلية، وقد استفاد فاليانتزاس Valiantzas (1997 a) من الانهيار الجزئي للمنحنيات التي توجد في الشكل رقم (١٣,٤) نحو منحنى واحد عندما تم تطبيعها وقد تم تغيير المتغير المستقل إلى x_A^* / t^* (الذي يختلف في المدى من واحد إلى صفر، عندما تتغير t^* من صفر 0 إلى مالانهاية). وقد استنتج ملاءمة تحليلية تقريبية من خلال دالة بسيطة متعددة الحدود، وقد ثبت أن وجود بضعة تكرارات أمر ضروري لإنشاء النقطة $x^*(t_A^*)$ على منحنى التقدم بسبب صيغة المتغير المستقل في الدالة متعددة الحدود. وقد بحث العذبه Alazba (1999) عن حل مباشر عن طريق إيجاد ما يناسب القيمة $r_z(t^*)$ ، والذي تطلب عندئذ حل معادلة من الدرجة الثانية للنقطة $x^*(t_A^*)$. وكلا المنهجين أقل كثافة حسابياً من معادلة لينوي Lenau (1969).



الشكل رقم (١٣,٥). معامل شكل المقطع للتسرب (تسرب كوستيكوف).

ومن المفيد اعتبار شروط الشكل رقم (١٣,١) والشكل رقم (١٣,٢) في ضوء الشكل رقم (١٣,٥) للحكم على مقدار الخطأ الذي يقدمه افتراض القيمة الزمنية الصغيرة في حالة r_z التي تظهر في المعادلة رقم (١٣,٣٣). وفي الشكل رقم (١٣,١)، فإن الزمن اللابعدي المرتبط بتقدم قدره ٤٠ دقيقة يساوي ١٠,٩، والذي يُشاهد في الشكل رقم (١٣,٥) (عن طريق الاستكمال القياسي بين المنحنيين a تساوي 0.3 و 0.4) لزيادة القيمة الزمنية الصغيرة لـ r_z التي تساوي ٠,٧٤ بحوالي ٤٪، إلى ٠,٧٧. ومع وجود $\overline{A}_z$ تساوي ١,٧ مرة من $\overline{A}_y$ عند هذا الزمن، فإن تصحيح r_z سوف يقلل قيمة x_A بحوالي ٢,٥٪، أي، حتى تصل إلى الخط المتقطع، والذي يمثل حل معادلة لويس وميلن. والتصحيحات المماثلة في حالة الشكل رقم (١٣,٢) أيضاً تحرك التقدم المحسوب من الخط المتصل إلى الخط المتقطع، والذي مازال يظهر اختلافاً أساسياً

عن القيم المحسوبة. إذن، في هذه الحالة، لم يكن افتراض الشروط الزمنية الصغيرة لـ r_z مهمة (في حالة الزمن الفعلي $t = 60\ min$ و $t^* = 10^{-5}$)، وهناك أحد العوامل الأخرى مسئول عن التعارض (في هذه الحالة الغريبة، يكون عمق منبع السريان أثناء ساعة التقدم الموضح أقل بكثير جداً من العمق الطبيعي، انظر الجزء (١٣,٦,١٢)). ومع هذا ليس من الممكن القول بشكل عام، إن الخطأ في افتراض أولى المعادلات رقم (١٣,٣٣) خلال التقدم أمر مهمل: ويظهر الشكل رقم (١٣,٥) أنه بينما تكون القيمة المنخفضة لـ a، حيث تكون التغيرات في r_z مع الزمن مهمة في الواقع، كلما أظهرت القيم الأكبر تغيرات تبلغ حتى ١٠٠٪. وتظهر القيمة النظرية شائعة الاستخدام $a = 0.5$ تغيراً قدره ١٦٪ عبر المدى الكلي المحتمل لأزمنة الري.

إن الأشكال التي تشبه الشكل رقم (١٣,٤) والشكل رقم (١٣,٥) يمكن تمثيلها بالنسبة لمعادلات التسرب فضلاً عن تسرب كوستيكوف. فعلى سبيل المثال، مع معادلة فيليب النظرية، $S\tau^{1/2} + A\tau$، فإن العوامل اللابعدية يمكن أن تقوم على زمن المرجع، $T_R = \left(\frac{\tilde{A}_y}{W \cdot S}\right)^2$، بدلاً من الزمن المذكور في المعادلة رقم (١٣,٣١)، والمعامل الذي يحدد المنحنيات سوف يكون $A^* = \frac{A}{S^2 W / \tilde{A}_y}$. وإن معادلات التسرب التي يوجد بها أكثر من معاملين اثنين سوف تتطلب صفحات من المنحنيات البيانية لتغطية مداها المحتمل.

(١٣,٥,٦) القانون الأسي للتقدم

إن المنحنيات التي تم تمثيلها على الورق اللوغاريتمي في الشكل رقم (١٣,٤)، أي حلول معادلة لويس وميلن للتقدم (تعبيراً عن حفظ الكتلة) بمتوسط ثابت لعمق مياه السطح وتسرب قانون الطاقة، يظهر فيه تقدم الخط المستقيم (القانون الأسي):

$$x_A = f^* t^h \qquad (١٣,٣٤)$$

عند كل من الأوقات الزمنية الصغيرة جداً والكبيرة جداً، ولكن ليس فيما بينها. ولكن، غالباً ما يظهر التقدم المقاس وكذلك حالات المحاكاة الهيدروديناميكية ملائمة

جداً للقانون الأسي عبر الفواصل الزمنية المتوسطة، قل مثلاً من ١٠٪ من طول الحقل إلى نهايته. إذن، يؤدي افتراض أن كلا من $z = k\tau^a$ و $x_A = f^* t^h$ إلى تبسيطات كبيرة في معادلة لويس وميلن لحجم التسرب، والذي يكون:

$$B_0 \int_0^t k(t-t_A)^a h f^* t_A^{\,h-1} dt_A = B_0 k t^a f^* t^h h \int_0^1 (1-\alpha)^a \alpha^{h-1} d\alpha \qquad (١٣,٣٥)$$

والتي يكون فيها التكامل المحدد من الجانب الأيمن، الذي يساوي مقداراً ثابتاً في حالة إعطاء قيمة لكل من a و h ، والذي لا يعتمد على الزمن، هو دالة بيتا المعروفة جيداً، التي تقبل أن يتم التعبير عنها بدلالة دوال جاما ((Abramowitz and Stegun, 1964) والأجزاء (٦,٢,١)، و(٦,٢,٢)). ويكون معامل الشكل الناتج للقطاع الجانبي للتسرب الكلي:

$$r_z = \frac{\Gamma(1+a)\Gamma(1+h)}{\Gamma(1+a+h)} \qquad (١٣,٣٦)$$

الذي لا يعتمد تماماً على الزمن. ويكون التعبير الجبري (Christiansen *et al.*, 1966):

$$r_z = \frac{1+a+h-ah}{1+a+h+ah} \qquad (١٣,٣٧)$$

ذا تناسب عملي كبير عبر المدى بأكمله من $0 < a < 1$ و $0 < h < 1$.
وعند أزمنة التقدم الصغيرة جداً، وعندما يكون حجم التسرب مهملاً مقارنة بحجم السطح عند عمق ثابت، فإن $h = 1$، و r_z تقل حتى:

$$r_z = \frac{\Gamma(1+a)\Gamma(1+h)}{\Gamma(1+a+h)} = \frac{\Gamma(2)\Gamma(1+a)}{\Gamma(2+a)} = \frac{\Gamma(1+a)}{(1+a)\Gamma(1+a)} = \frac{1}{1+a} \qquad (١٣,٣٨)$$

بما يؤكد القيم الحدية على يسار الشكل رقم (١٣,٥). وعند أزمنة التقدم الكبيرة جداً، يكون حجم السطح مهملاً مقارنة بالحجم المتسرب، وتكون $a = h = 1$ (Hart *et al.*, 1968) إذن:

$$r_z = \frac{\Gamma(1+a)\Gamma(2-a)}{\Gamma(2)} = \frac{\pi a(1-a)}{\sin(\pi a)} \qquad (١٣,٣٩)$$

(التي تم استنتاجها من ابراموتز وستيقن Abramowitz and Stegun, 1964 في الجزء (٦,١,١٧))، وهو دالة في a فقط وتؤكد القيم التي تم الاقتراب منها في الشكل رقم (١٣,٥).

ويمكن كذلك أن تقارن معادلة التسرب لكوستيكوف الأكثر تعديلاً (المعادلة رقم ١٣,١٢) مع تقدم القانون الأسي لينتج:

$$V_z = f \cdot t^h \left(r_{z1} k t^a + r_{z2} b t + r_{z3} c\right) \qquad (١٣,٤٠)$$

والتي فيها: $r_{z1} = r_z$ في المعادلتين رقم (١٣,٣٦) ورقم (١٣,٣٧) و $r_{z2} = \dfrac{1}{1+h}$ ، و $r_{z3} = 1$.

ويمكن استخدام تقدم القانون الأسي المذكور في هذا الجزء بدون أي افتراضات تتعلق بمتوسط عمق مياه السطح، كما في المسألة العكسية لتقدير معاملات كوستيكوف في الجزء (١٣,٧)، أو كتقريب لحل معادلة لويس وميلن مع وجود متوسط عمق ثابت لمياه السطح، كما يلي.

(١٣,٥,٦,١) طريقة النقطتين للتقدم

إن افتراض حفظ الكتلة مع متوسط عمق ثابت لمياه السطح وتقدم قانون أسي تقريبي يقدم بديلاً تقريبياً للطرق الهيدرولوجية الأخرى لتقدير زمن التقدم، الذي يعطي التسرب على صيغة $k\tau^a$ ، والميل، والخشونة، ومعدل التدفق (مما يؤدي إلى الحصول على قيمة $\tilde{A}_y$). وعلى سبيل المثال، ففي حقل طوله L ، إذا كانت أزمنة التقدم إلى نقطة المنتصف $t_{L/2}$ وإلى نقطة النهاية t_L معلومة، فإن المنحنى الكلي للتقدم، $f^* t^h$ ، سوف يكون معلوماً. إذن، فإن الحلول الفورية للمعادلات المتسامية غير الخطية بالنسبة لكل من $t_{L/2}$ ، و t_L ، و h تقوم بحل مسألة التقدم. ومع معرفة

Q_0 ، و x_A عند زمنين اثنين غير معروفين، فإن القيمتين المناظرتين الأخريين لـ V_Z تكونان معروفتين كدوال في الزمنين، والمعادلات الفورية المرتبطة بهذه الحالة هي:

$$G_1 = B_0 k t_{L/2}{}^a \left(\frac{L}{2}\right) r_Z(a,h) - V_{ZL/2} = 0$$

$$G_2 = B_0 k t_L{}^a L r_Z(a,h) - V_{ZL} = 0 \qquad (١٣,٤١)$$

$$G_3 = \frac{1}{2} t_L{}^h - t_{L/2}{}^h = 0$$

حيث إن:

$$V_{ZL/2} = Q_0 t_{L/2} - \tilde{A}_y \frac{L}{2}$$

$$V_{ZL} = Q_0 t_L - \tilde{A}_y L \qquad (١٣,٤٢)$$

ولحل النظام باستخدام خطوات نيوتن-رافسون، فإن الاستنتاج المطلوب لقيمة r_z بالنسبة إلى h يمكن إيجاده بأبسط الطرق عن طريق تفاضل معادلة كريستيانسن (المعادلة رقم ١٣,٣٧).

(١٣,٥,٧) النمذجة الهيدرولوجية – الاستنتاجات

من الأهداف الأساسية لمحاكاة الري السطحي التنبؤ بتوزيع المياه المتسربة على امتداد طول مجرى الماء. وإذا كان تقدم وانحسار مجرى تيار ماء الري السطحي معروفين، فإن أزمنة فرصة التسرب سوف تكون معروفة، ومع وجود دالة تسرب معروفة لا تعتمد على عمق التدفق، سوف يتم حل المسألة. وفي حالة التسرب الذي يعتمد فقط على زمن البلل وليس على عمق التدفق، فإن معادلة لويس وميلن التكاملية تعد نصاً دقيقاً لحفظ الكتلة أثناء تقدم مجرى تيار الري، وإذا وجدت طريقة ما لتقدير الاختلاف في متوسط عمق مياه السطح، فلن تؤدي إلى نوع الأخطاء التي ظهرت في الشكل رقم (١٣,٢). ولكن، معظم الطرق الموجودة لحل المعادلة افترضت أن العمق المتوسط لمياه السطح

تساوي ثابتاً معروفاً. وقد أدت أوجه عدم الدقة المرتبطة بهذا الافتراض إلى تطوير طرق لمحاكاة التقدم عن طريق استخدام قوانين هيدروليكا القنوات المكشوفة التي تحكم التدفق في المجرى المائي السطحي، كما هو مذكور في الجزء اللاحق.

ومن الممكن القيام باختبار مراحل أخرى من الري السطحي. فعلى سبيل المثال، اختبار النضوب، والتقدم، والانحسار عن طريق وضع افتراضات مقبولة منطقياً تتعلق بالقطاع الجانبي لمياه السطح، ومعدلات التسرب (Shockley *et al.*, 1964; Wu, 1972; Singh and Yu, 1989a, b) وحل معادلة الاستمرارية مع حفظ الكتلة. ولكن مع تزايد الغموض بشكل عام للافتراضات اللازمة على شكل المقطع الجانبي للمجرى المائي لأطوار من الري تتبع التقدم، وللإتاحة واسعة الانتشار للحسابات الشخصية السريعة، فإن هذه المناهج، إلى درجة كبيرة، قد تم استبدالها بحلول محاكاة عددية للمعادلات الهيدروليكية التي تتحكم في التدفق، والتي يمكن تطبيقها بشكل متساو على كل مراحل عملية الري.

ومازالت بساطة المنهج الهيدرولوجي تقترح استخدامها لحل ما يضاد المحاكاة، بالنسبة لتقدير معاملات الحقل وللتصميم. ويمكن عندئذ تجميع البيانات اللازمة للافتراضات المناسبة من الحلول الهيدروديناميكية المتوازية، بدلاً من العمل بالتخمين. ومن المحتمل أن يكون هناك اهتمام متواصل بهذه المحاولة الأقدم لمحاكاة الري السطحي.

(١٣,٦) النمذجة الهيدروديناميكية لعملية الري السطحي

(١٣,٦,١) القوانين الفيزيائية لهيدروليكا القنوات المكشوفة– الحل الشبكي أحادي البعد

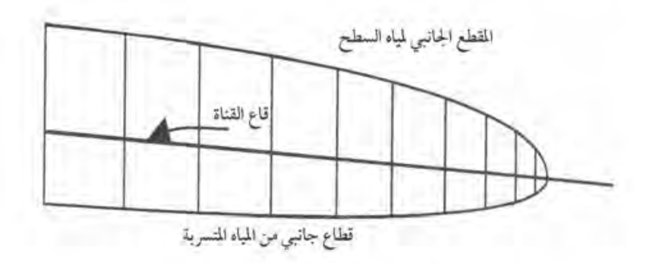
إن الأخطاء الرئيسية التي يمكن مواجهتها من خلال الشكل والعمق المفترض للمجرى السطحي قد أدت إلى حساب طولها وعمقها على أساس قوانين حفظ الكتلة وكمية الحركة التي يتم تطبيقها عبر سلسلة من الخطوات الزمنية على عناصر من المجرى السطحي والمياه المتسربة. وفي وجود هذا المنهج من الضروري افتراض أن التسرب لا يعتمد على عمق الخط (معامل البلل)، حيث إن عمق المجرى المائي الآن يعد متغيراً للحل. ولكن لازال من اللازم حساب كل من التسرب والمقاومة عملياً. وإن التطورات

النظرية الأخيرة في حسابات التدفق المضطرب، وتقنيات تقارن التدفق غير المشبع لمياه التربة مع التدفق في المجرى المائي السطحي (Tabuada *et al.*, 1995; Bradford and Katopodes, 1998; Skonard, 2002; Zerihun *et al.*, 2005) تجعل مثل هذه المساهمات العملية المحضة غير ضرورية، ولكن مع هذا لا تعد هذه الطرق عملية أو دقيقة بدرجة كافية في نتائجها النظرية للتسرب بالنسبة للحسابات التقليدية.

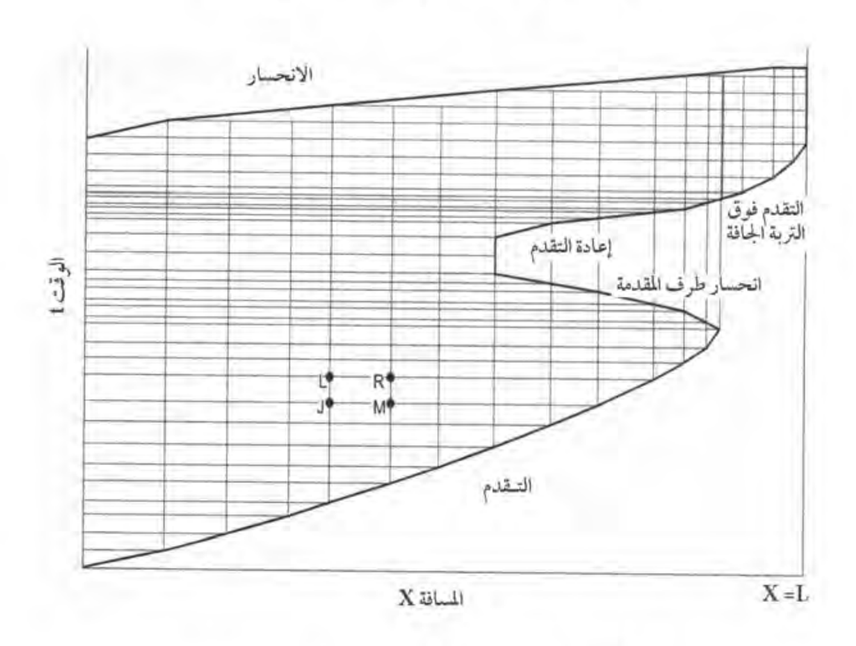
وفي منهج الهيدروديناميكي النمطي، يتم تقسيم المجرى المائي السطحي إلى شرائح، أو خلايا كافية، بحيث يكون شكل كل خلية تقريباً على هيئة شبه منحرف، كما في الشكل رقم (١٣,٦) (بالنسبة للخلية الطرفية، من المفترض غالباً شكل القانون الأسي)، على أن امتدادات الحقل الحسابية كالمجرى المائي تطول. يتم تقسيم الزمن الكلي للمحاكاة إلى عدد كافٍ من الفواصل الزمنية بحيث يمكن اعتبار اختلاف العوامل المرتبطة بها خطية كذلك، كما في الشكل رقم (١٣,٧). ويتم في الغالب التحكم في المسافة والخطوات الزمنية عن طريق برامج الحاسب الآلي، مع قيام المستخدم بتوفير كثافة خلية مستهدفة، أي العدد التقريبي لخطوات المسافة التي تغطي طول المجرى بأكمله. وفي هذه الحالة تقوم الخطوات الزمنية بتكوين جزء من الحل لتقدم مجرى تيار الري. ومن الأفضل أن يتم تثبيت أوجه وعقد الخلية في شبكة الحل مع الزمن على امتداد طول المجرى المائي، حيث إن طول مجرى تيار الري يزداد، لتجنب الاستكمال القياسي في المقطع الجانبي للتسرب من خطوة زمنية إلى خطوة زمنية أخرى[٣]. ولا يلزم أن تكون العقد واقعة على مسافات متساوية، ولكنها يجب أن تتلاقى مع المواقع في الحقل حيث يكون هناك انكسار في الميل، أو تغير خطوي في معاملات التسرب أو الخشونة. عند مثل هذه المواقع، يكون هناك حاجة لعقدة مزدوجة بسبب التغيرات الخطوية التي يحتمل وجودها هناك على السطح أو عند عمق التسرب. وبالمثل، فإن أوقات التوقف أو القطع أو بداية الدفق يجب

(٣) في حسابات اتزان الكتلة، فإن أخطاء الاستكمال القياسي في حجم التسرب المحسوب يمكن أن يؤدي إلى أعماق السطح السالبة المحسوبة، عندما تكون هذه صغيرة مقارنة بأعماق التسرب، والمحاكاة المتوقفة (Strelkoff *et al.*, 1998).

أن تتلاقى مع مستوى زمن الحل. عندما تكون الخطوة الزمنية معطاة أثناء مرحلة التقدم، فإن زيادة في التقدم تعمل على تكوين جزء من الحل. والهدف دائماً أن تتغير العوامل باستمرار وبالتدريج عبر خطوة زمن أو مسافة، بدون انكسارات في التدرج، حيث إنه عند هذا يتم ضبط التقريب الخطي داخل الخلية.



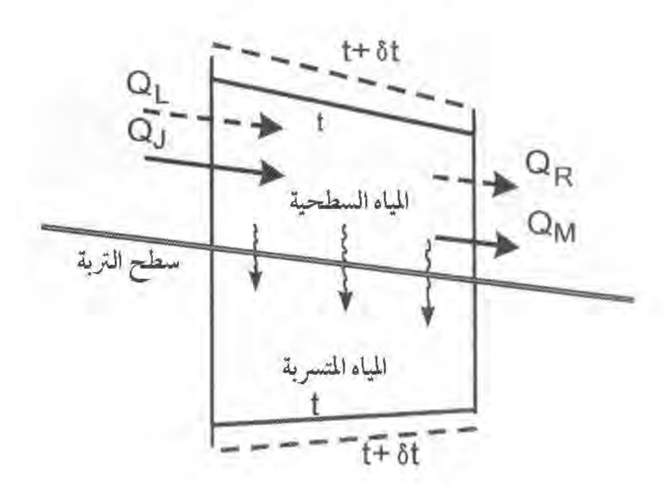
الشكل رقم (١٣,٦). تقسيم طول المجرى المائي إلى خلايا.



الشكل رقم (١٣,٧). شبكة الحساب في المستوى x-t.

(١٣,٦,٢) حفظ الكتلة

تمثل الخطوط المتصلة في الشكل رقم (١٣,٨)، المقطع الجانبي للخلية عند بداية الخطوة الزمنية، والخط المتقطع عند نهاية الخطوة الزمنية. وتشمل الخلايا التي تعبر عن حفظ الكتلة كلا من المياه السطحية والمياه المتسربة، وتكون مقيدة من أعلى بسطح المياه الفعلي، ومن أسفل بعمق التسرب (التي تتوسط عبر الاتجاه العرضي)، وعند بداية ونهاية الخط بالأوجه العمودية على قاع القناة.



الشكل رقم (١٣,٨). حفظ الكتلة في خلية المياه السطحية أو المياه المتسربة. الخط المتصل: بداية الخطوة الزمنية، والخط المتقطع: نهاية الخطوة الزمنية.

ويجب أن يكون صافي كتلة التدفق في الخلية مساوياً للزيادة في كتلتها. وبدلالة العوامل في الشكل رقم (١٣,٧)، والشكل رقم (١٣,٨)، فإن اتزان الكتلة في حال خطوة زمنية δt يساوي (مع كثافة كتلة ثابتة):

$$\left[\theta Q_L + (1-\theta) Q_J\right]\delta t - \left[\theta Q_R + (1-\theta) Q_M\right]\delta t =$$

$$\left\{\left[\phi_{yL}A_{yL} + \phi_{yR}A_{YR} + \phi_{zL}A_{zL} + \phi_{zR}A_{zR}\right] - \right. \quad (١٣,٤٣)$$

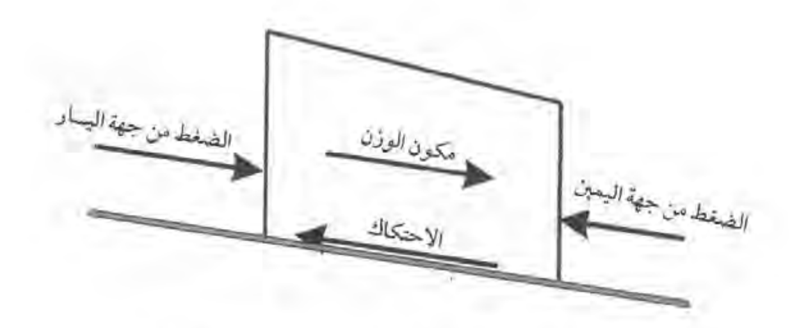
$$\left.\left[\phi_{yJ}A_{yJ} + \phi_{yM}A_{yM} + \phi_{zJ}A_{zJ} + \phi_{zM}A_{zM}\right]\right\} \delta x_{LR}$$

وتعكس معاملات الوزن θ و ϕ أي انحرافات عن تغير الخط المستقيم للمتغيرات مع الزمن أو المسافة (الخلايا شبه المنحرفة للقيمة ٢/١). ويتم إعطاء المتغير θ قيمة أكبر قليلاً من ٠,٥ حتى عندما تكون الخطوات الزمنية صغيرة بدرجة كافية لمنع عدم ثبات الحسابات السابقة عبر عدد كبير من الخطوات الزمنية. وإلا ، تكون المخططات العددية كالمعادلة رقم (١٣,٤٣)، والمعادلة رقم (١٣,٤٥) (لاحقاً) مضخمة للأخطاء العددية الصغيرة للقطع أو لوضع حد مع كل خطوة زمنية تالية ، لهذا في النهاية ، فإن هذه الأخطاء المتذبذبة تعمل على طمس الحل الصحيح بشكل تام (انظر مثلاً ، Cunge *et al.*, 1980).

(١٣,٦,٣) حفظ كمية الحركة

على خلاف الكتلة ، يمكن استمداد كمية الحركة. فالنبضة ، أو التكامل الزمني ، الناتج من كل القوى التي تؤثر على الخلايا الممتلئة بالمياه يزيد من كمية الحركة بنفس الكمية. وكمية الحركة الزائدة هذه إما أن تتزايد داخل الخلية ، أو تتدفق للخارج من خلال حدود الخلية.

وقد تم تصوير القوى المؤثرة على مياه السطح في الخلية في اتجاه التدفق في الشكل رقم (١٣,٩)، وهي مكونات وزن المائع التي تتجه نحو أسفل الميل ، ومقاومة الجدران والقاع وأي نبات قد يوجد في التدفق ، والفرق في قوى الضغط الهيدروستاتيكي على الأوجه اليمنى واليسرى. وفي خطوط تربة غير منشورية ، فإن الضغوط التي تؤثر على أوجه الخلية تزاد بمكون داخل الخط من الضغوط المائية التي تؤثر على الجدران الجانبية المتسعة تدريجياً نحو الخارج.



الشكل رقم (١٣,٩). حفظ كمية الحركة: القوى المؤثرة على خلية مياه السطح.

إن مكون الوزن يساوي حجم المياه الموجودة في الخلية، مضروباً في γ ، وحدة الوزن من المياه، والميل S_0 لقاع القناة. ويتم التعبير عن المقاومة من خلال ميل الاحتكاك S_f. ويتم التعبير عن قوة الضغط الهيدروستاتيكي على مياه الخلية، بما فيها مساهمات الجدران الجانبية الغير منشورية، بأبسط طريقة من خلال متوسط مساحة مقطع الخلية مضروباً في الفرق في عمق المياه عند الوجهين ووحدة الوزن من المياه. وفي الحقيقة، يتم تفسير مجموع الضغط وقوى الجاذبية على نحو جيد عن طريق متوسط مساحة مقطع الخلية مضروباً في الفرق في ارتفاعات سطح المياه عند أوجه المقدمة والنهاية من الخلية. وهذه الصياغة تضمن أن المياه المتوقفة في مجرى مائي له أي شكل سوف يتم حسابها بالسطح الأفقي.

وبالتالي، فإن النبضة δI_F الناتجة من القوة المؤثرة على خلية المياه في اتجاه التدفق عبر فترة زمنية قدرها خطوة زمنية تكون:

$$\begin{aligned} \delta I_F = \Big[& \theta\left(\phi_{yL}A_{yL} + \phi_{yR}A_{yR}\right)\left(h_L - h_R - S_{f\,LR}\delta x_{LR}\right) \\ & + (1-\theta)\left(\phi_{yJ}A_{yJ} + \phi_{yM}A_{yM}\right)\left(h_J - h_M - S_{f\,JM}\delta x_{JM}\right) \Big]\gamma\delta t \end{aligned} \quad (١٣,٤٤)$$

حيث إن h تساوي ارتفاع سطح المياه.

وحيث إن كل عنصر من الحجم يمتلك كتلة، فإن كل عنصر من الحجم δV يمتلك كمية حركة تساوي، $\rho V \delta V$، موجهة في نفس اتجاه المتجه V. وبالتالي فإن كمية الحركة تدخل وتغادر الخلية من خلال أوجه منبع ومصب السريان الخاصة بها، ومن المفترض ألا تمتلك المياه المتسربة أي كمية حركة. وتنامي وتدفق كمية الحركة δM معطى بالمعادلة التالية، التي توازي المعادلة رقم (١٣,٤٣):

$$\begin{aligned}\delta M = & \left[\theta \rho V_R Q_R + (1-\theta) \rho V_M Q_M\right] \delta t \\ & - \left[\theta \rho V_L Q_L + (1-\theta) \rho V_J Q_J\right] \delta t \\ & + \left(\phi_{yL} V_L A_{yL} + \phi_{yR} V_R A_{yR}\right) \rho \delta x_{LR} \\ & - \left(\phi_{yJ} V_J A_{yJ} + \phi_{yM} V_M A_{yM}\right) \rho \delta x_{JM} + \delta M_I\end{aligned} \quad (١٣,٤٥)$$

والحد الأخير الصغير المهمل يمثل كمية الحركة التي تُحمل خارج سطح مجرى التيار عن طريق التسرب. وعلى أساس اعتبارات الطاقة والافتراضات الفيزيائية المنطقية (Strelkoff, 1969)، فإن تدفق كمية الحركة δM_I الذي يساهم به التسرب في الخطوة الزمنية يكون:

$$\delta M_I = \left(\theta \frac{\rho}{2} \overline{V_{LR}\, W.i_{LR}} \delta x_{LR} - (1-\theta) \frac{\rho}{2} \overline{V_{JM}\, W.i_{JM}} \delta x_{JM}\right) \delta t \cong 0 \quad (١٣,٤٦)$$

والحد الأول الذي وضع عليه شرطة في كل حد يساوي متوسط السرعة في الخلية، والحد الثاني هو متوسط المعدل الحجمي الذي عنده تتسرب المياه خارج الخلية لكل وحدة طول، مما يكوّن معامل بلل تمثيلي W ومعدل تسرب تمثيلي i لكل وحدة مساحة.

وفي النهاية، تكون معادلة كمية الحركة لكل خلية هي:

$$\delta I_F = \delta M \qquad (١٣,٤٧)$$

(١٣,٦,٤) التخفيض إلى معادلات تفاضل جزئي

مع وجود خشونة ومميزات تسرب محددة ومع معدل تدفق وشرط حدي خلف (مصب) السريان (تقدم، نهاية مسدودة، أو سقوط حر)، فإن المعادلتين الجبريتين غير الخطيتين، رقم (١٣,٤٣)، ورقم (١٣,٤٧) تكونان صالحتين للحل العددي الفوري بالنسبة لخطوة زمنية ما، عبر كل الخلية. ولتوجيه القارئ، مع هذا، فإن الأمر لا يساوي شيئاً عن تخفيض هاتين المعادلتين إلى شكل لقانون حفظ كمية الحركة لمعادلات التفاضل الجزئي للتدفق في القناة المفتوحة (Saint Venant, 1871) عن طريق قسمة المعادلتين على $\gamma\delta x\delta t$ وتخفيض δx و δt إلى الصفر. ضمن الحد:

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A_y}{\partial t}+\frac{\partial A_z}{\partial t}=0$$

$$\frac{1}{g}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A_y}\right)+\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{V}{2}\frac{\partial A_z}{\partial t}\right]+A_y\left[\frac{\partial y}{\partial x}-S_0+S_f\right]=0 \qquad (١٣,٤٨)$$

والتي تخفض، مع حساب التكامل والتفاضل القياسي، إلى صيغة تقليدية غير محافظة:

$$A_y\frac{\partial V}{\partial x}+VB\frac{\partial y}{\partial x}+VA_{yx}^{y}+B\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{\partial A_z}{\partial t}=0$$

$$\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x}-\frac{V}{2g}\frac{\partial A_z}{\partial t}=\frac{\partial y}{\partial x}-S_0+S_f \qquad (١٣,٤٩)$$

والتي فيها B اتساع القمة عند العمق y، وA_{yx}^{y} معدل الزيادة في A_y مع المسافة مع العمق الثابت في الخطوط غير المنشورية، وفي الخطوط المنشورية تساوي الصفر.

(١٣,٦,٥) الشروط الأولية والحدية (سانت فينانت)

إن الشروط الأولية لهذه المعادلات، عند $t = 0$ ، هي صفر عمق وتصرف في كل مكان، والشروط الحدية لمنبع السريان هي عادةً منحنى مائي معطى، مع الحل الذي ينتج أعماق منبع السريان. وبالتبادل، فإن أعماق منبع السريان أو ارتفاعات سطح المياه في قناة إمداد يمكن أن تعطى، ويتم عندها حساب التدفق الناتج.

وأثناء تقدم الماء، فإن الشرط الحدي لمصب السريان، عند مقدمة الموجة، عمق يساوي صفراً. وتقترب سرعات التدفق من حد محدد هناك (Whitham, 1955; Sakkas and Strelkoff, 1974)، وبهذا يكون التصرف عند المقدمة يساوي صفراً.

وعند اكتمال تقدم الماء، عند حدود الحقل لخلف (مصب) السريان، وإذا تم صد التدفق، يصبح التصرف صفراً، ويمكن حساب العمق. وفي حالة السقوط الحر في قناة صرف، يصبح التدفق عند حده الحرج (رقم فرود المحلي يساوي الوحدة)، وإذا كان منسوب المياه في قناة الصرف يقع فوق سطح التربة المغرق بالمياه بمقدار أكبر من العمق الحرج، فإن هذا العمق يصبح الشرط الحدي، ويمكن حساب التصرف. ولتجنب الحاجة لتحديد عمق ما افترض سكاس وآخرون Sakkas *et al.* (1994) تقدماً مستمراً إلى داخل امتداد الحقل الافتراضي، فإن التصرف الناتج عند نهاية الحقل الفعلية يكوّن المنحنى المائي للجريان السطحي.

وعند حافة النهاية في الانحسار، يكون كل من العمق والتصرف صفراً.

(١٣,٦,٦) حل معادلات سانت فينانت الكاملة

إن عناصر التسارع (δM في المعادلة رقم (١٣,٤٧)، والعناصر المقسومة على g في المعادلتين رقمي (١٣,٤٨)، و(١٣,٤٩)) تجعل المعادلات متسمة بالغلو، أي أن، معادلات الموجة، التي يمكن تصوير سلوكها الفيزيائي فقط في الحل القائم على نقاط

تقاطع عائلتين من منحنيات التمييز (Garabedian, 1964; Sakkas and Strelkoff, 1974; Strelkoff and Falvey, 1993). وكما لاحظنا، فإن التعرض للتضاؤل الثانوي وتحول المرحلة، يجعل المعادلتين رقمي (١٣,٤٣)، ورقم (١٣,٤٧)، اللتين تم كتابتهما على مخطط بيرسمان (Cunge *et al.,* 1980; Walker and Skogerboe, 1987)، جاهزتين للحل بدون الحاجة لأي معادلات تمييز.

يعمل حل معادلات سانت فينانت على توفير حل دقيق، وحساس أحياناً من الناحية العددية، كما ينتج قطاعات جانبية مغلولة أو حتى تفشل في حساب العمق السلبي. هناك شكلان مختصران شائعان لمعادلات سانت فينانت، هما، تقريب القصور الذاتي الصفري وتقريب الموجة الكينيماتيكية، يتم استخدامهما لتوفير محاكاة أكثر قوة. وللتقريبين مدى واسع من التطبيق، برغم أنه يلزم إدراك قيودهما.

(١٣,٦,٧) تقريب القصور ذاتي الصفري

إن عناصر التسارع في المعادلات رقم (١٣,٤٣)، ورقم (١٣,٤٧)، أو رقم (١٣,٤٨)، أو رقم (١٣,٤٩)، برغم أنها تكون صغيرة نسبياً في الري السطحي بسبب سرعات المياه المنخفضة، يمكن أن تبقى مزعجة رقمياً وبهذا تقلل من قوة النموذج. إن التعديل لأجل اختصار المعادلات الحاكمة إلى صفر عجلة أو صفر قصور ذاتي يتوفر عن طريق قياس مقدار تأثير حدود العجلة على تقدم الري السطحي، كما هو موضح في الشكل رقم (١٣,١٠). ويسمح العرض اللابعدي، مع كل متغير يعرض بالنسبة لمتغير المرجع، بعرض صفحة مفردة من هذا التأثير لمدى واسع من معامل كوستيكوف k، ومعامل مانتق n، ومعدل التدفق. وفي حالة مقطع شريحة بمعدل تدفق يساوي الوحدة q_0 وتسرب كوستيكوف وخشونة مانتق، فإن النظام المناسب يكون:

$$q^* = \frac{q}{Q_R} \qquad y^* = \frac{y}{Y_R} \qquad t^* = \frac{t}{T_R} \qquad \tau^* = \frac{\tau}{T_R}$$

مع :

$$Q_R = q_0 \qquad Y_R = y_N(q_0, S_0, n)$$

$$T_R = \left(\frac{Y_R}{k}\right)^{1/a} \qquad Q_R T_R = Y_R X_R \tag{١٣,٥٠}$$

وبالتعويض في المعادلة رقم (١٣,٤٨) تنتج المعادلات اللابعدية مع ثلاثة عوامل مستقلة فقط أثناء التقدم عند التدفق المستقر، ويكون رقم فرود F_N عند العمق الطبيعي للتصرف المتدفق، والميل اللابعدي S_0^*، أي :

$$F_N = \sqrt{\frac{Q_R^{\ 2}}{gY_R}} \quad ، \quad S_0^* = \frac{S_0}{Y_R / X_R} \tag{١٣,٥١}$$

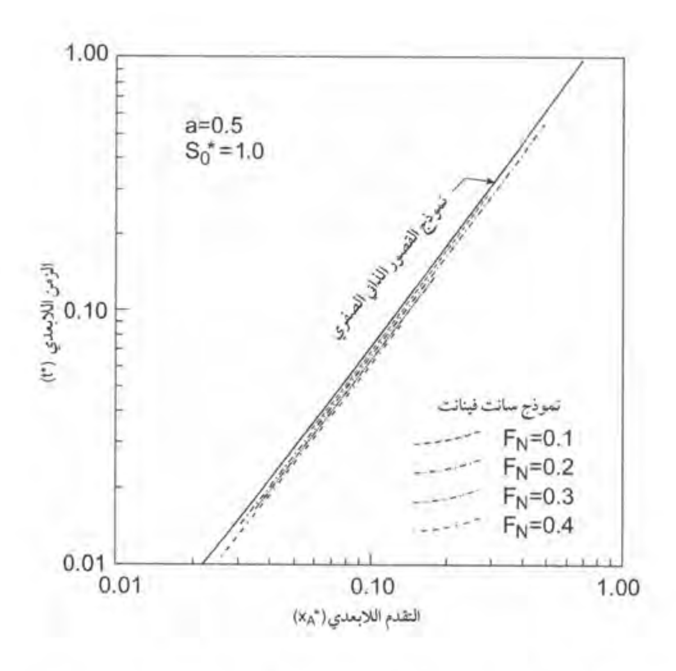
وأس كوستيكوف a .

ويوضح الشكل رقم (١٣,١٠) (المستنتج من Katopodes and Strelkoff, 1977b) التأثير الصغير جداً على النتائج إذا تم التخلص من حدود القصور الذاتي من معادلة الحركة، مما يترك حالة من التوازن بين القوى المؤثرة على المجرى السطحي. إن الحدود المحددة، مع $F_N = 0$ تم الحصول عليها مع كل الحدود المتعلقة بالقصور الذاتي (وتلك التي تحتوي على g ، في المعادلة رقم (١٣,٤٨)، ورقم (١٣,٤٩)) التي تختصر ببساطة من المعادلات (أو بوضع $\delta M = 0$ في المعادلة رقم (١٣,٤٧)). والمتطلب المحدد لتعديل هذه الخطوة هو أن يكون رقم فرود عند العمق الطبيعي صغيراً بدرجة كافية، مثلاً أقل من حوالي ٠,٤ ، وهو شرط يتم تلبيته في الري السطحي مع السرعات الصغيرة.

إن معادلات القصور الذاتي الصفري التي لها أبعاد، في حالة الشرائح، أو الأحواض، أو الخطوط هي المعادلتان رقم (١٣,٤٣)، ورقم (١٣,٤٤) اللتان تم كتابتهما لنهاية الخطوة الزمنية الحالية والتي تختزل إلى الصيغة التالية :

$$\left(\phi_{yL}A_{yL} + \phi_{yR}A_{yR}\right)\left(h_L - h_R - S_{fLR}\delta x_{LR}\right) = 0 \qquad (١٣,٥٢)$$

وهو بيان بسيط للتوازن بين القوى المؤثرة على المياه في الخلية، لأن $\delta M = 0$.



الشكل رقم (١٣,١٠). تأثير رقم فرود المرجعي على تقدم مجرى التيار.

(١٣,٦,٨) الشروط الأولية والحدية (القصور الذاتي الصفري)

إن الشروط الأولية والحدية لمعادلات القصور الذاتي الصفري هي نفسها لمعادلات سانت فينانت (الجزء رقم ١٣,٦,٥)، ولكن يجب أن يكون ثابتاً في الذهن أن التدفقات التي لها القصور الذاتي الصفري هي التي تكون تحت الحرجة بصورة لانهائية، أي، أن العمق الحرج يساوي صفراً (Strelkoff and Katopodes, 1977a). وعند السقوط الحر، وفي حين أن السرعة النظرية تكون كبيرة بصورة لانهائية، فإن

التصرف يبقى محدوداً، وبالضبط عند مسافة قصيرة من حافة منبع (أمام) السريان، تنخفض السرعة إلى مستويات واقعية.

والممارسة الشائعة لتحديد العمق الطبيعي كالشرط الحدي لخلف السريان في حالة الخطوط أو الشرائح التي تتصرف بحرية تكون متضاربة مع مفهوم القصور الذاتي الصفري. وإذا كان ميل القاع صغيراً جداً ليسمح بتطبيق منهج الموجة الكينيماتيكية على المحاكاة (انظر الجزء رقم ١٣,٦,١١)، أي أنه صغير جداً بحيث لا يمكن افتراض العمق الطبيعي عند كل النقاط في المجرى المائي السطحي، وبالتالي يكون صغيراً جداً عند النهاية بحيث لا يمكن افتراضه.

(١٣,٦,٩) معادلات القصور الذاتي الصفري

مع اختصار عناصر التسارع من معادلات سانت فينانت (المساوية لقيمة g النسبية الكبيرة بصورة لانهائية في معادلات التفاضل الجزئي)، فإن الاتجاهات المميزة في السطح $x - t$ لعائلتين متحللتين عند $dt / dx = \pm 0$. وهذا يوضح أن أي حدث مزعج عند الحدود ينتقل لحظياً إلى داخل المجرى المائي، ويتم الشعور به فوراً في كل مكان (برغم أنه مع الشدة دائمة التناقص مع المسافة من المصدر، كما في معادلة الحرارة، والتي تحاكيها معادلات القصور الذاتي الصفري). وبالتالي فإن معادلات القصور الذاتي الصفري تمثل مسألة قيمة حدية من نقطتين تتقدم مع الزمن، وتكون طبيعية بالنسبة للحل الجبري للمعادلتين رقمي (١٣,٤٣)، ورقم (١٣,٥٢) عند كل خطوة زمنية (Strelkoff and Katopodes, 1977b). في حين أن معظم حلول معادلات القصور الذاتي الصفري كانت عددية (Wallender and Rayej, 1985; SRFR, Strelkoff *et al.*, 1998; SIRMOD, ISED, 1989)، بما فيها طريقة العناصر المنتهية التي قدمها كل من شايا، وبرالتس، وسيجرلند (1991) Shayya, Bralts, and Segerlind، إلا أنه توجد بضعة حلول تحليلية معقدة وممتازة (Schmitz and Seus, 1987, 1990, 1992).

وفي الحلول العددية، يعمل النظام المستخدم للمعادلات الجبرية غير الخطية عند كل خطوة زمنية سوياً مع الشروط الحدية، على تكوين نظام خطي مغلق غير جبري،

وتعد تقنية نيوتن-رافسون فعالة في الحصول على حل لكل من y و Q عند كل من النقاط الداخلية، زائد أي نقطة أو غيرها توجد عند حدود الحقل لأمام (منبع) أو خلف (مصب) السريان، و δx_a (أو δt) أثناء التقدم. إن مصفوفة المعاملات بالنسبة للنظام الذي له معادلات خطية في تصحيحات التقريبات المتتابعة لمتغيرات الحل تعد متناثرة، وتنعكس بفاعلية باستخدام تقنيات المدى المزدوج (مثل، Cunge *et al.*, 1980). ويكون مقدار الخطوة الزمنية معطى، وزيادة التقدم غير معروفة، أو أن التقدم لموقع محدد يكون معطى والخطوة الزمنية غير معروفة. وفي الحالة الأخيرة، تحتوي مصفوفة المعاملات على عمود من المكونات لقيم δt. وهناك امتداد لتقنية المدة المزدوجة الأصلية متاح للحل (Strelkoff, 1992).

وإن تقارب تكرارات نيوتن-رافسون تعد جيدة معظم الوقت، ولكنها تعتمد لحد ما على التخمينات الأولية. والأكثر من هذا، فعند اتخاذ مناطق ضعيفة للحل (مثلاً، في حالة التقدم البطيء جداً)، فإن التصحيحات التي تقدمها التقنية يمكن أن تكون كبيرة جداً -وسلبية- بالنسبة للأعماق الصغيرة، وتتوقف المحاكاة. وفي العادة، تعد التخمينات الأولية المرضية ببساطة هي القيم التي توجد عند بداية الخطوة الزمنية. وفي حالة التقدم، فإن التخمين المرضي الأول يأتي من الاعتبارات التقريبية لاتزان الكتلة (SRFR, Strelkoff *et al.*, 1998).

وبوجه عام إذا ثبت أن عناصر التصحيح كبيرة جداً لدرجة تعمل على فوضى التكرارات، فإنها تكون محدودة بشكل اختياري لكسر من القيم المذكورة مسبقاً. ولكن، يتم إضافة الكسر لكل العناصر في متجه التصحيح وبهذا يظل اتجاهه (نيوتن-رافسون) غير متغير ("منهج عكسي" Press *et al.*, 2001)، والتقارب حتى لو كان بطيئاً يعد تصحيحاً كافياً لهذا الإجراء.

وفي بعض الأحيان يتم جعل المعادلات الجبرية غير الخطية، خطية وجعل متجه الحل عند δt في خطوة واحدة (Cunge *et al.*, 1980). وبشكل نظري، فإن الإجراء الذي يساوي تماماً التكرار الأول في طريقة نيوتن-رافسون، يتم ضبطه إذا كان الحل

مستمراً و δt صغيرة بدرجة كافية، ولكن بمتابعة التكرارات المتتالية إلى أن يتم إرضاء المعادلة حتى الحد المذكور فإن هذا يضمن تحقيق متطلبات الاستمرارية وكمية الحركة في كل خلية عند كل خطوة زمنية (SRFR, Strelkoff, 1998).

(١٣,٦,٩,١) التقدم المتوقف تقريباً

كما هو ملاحظ في الجزء رقم (١٣,٢,٢) فإن التقدم البطيء جداً يعد مشكلة صعبة الحل، مع وجود انحسار سابق لأوانه من المحتمل أن ينتج في مسار التكرارات. وهناك منهج متخذ في SRFR (Strelkoff *et al.*, 1998) قابل للتطبيق لكل من التذبذب الرقمي للتقدم وانحسار طرف المقدمة الفيزيائي النابع من عدم كفاية مؤقتة للتدفق. وعند حساب التقدم السلبي أو العمق السلبي بالضبط خلف مقدمة الموجة، فإن الحد الحسابي يتم إرجاعه للخلف مسافة خلية واحدة. ويتم وضع الشرط الحدي لخلف (مصب) السريان عند عمق صغير، والذي من خلاله يراق التدفق للخارج والتسرب لداخل التربة للأمام. وعندما يكون عمق هذا التسرب للأمام من المقدمة كبيراً بدرجة كافية في خطوة زمنية واحدة للتوافق مع معادلة التسرب بالنسبة للخطوة الزمنية، فإن الحد الحسابي يتحرك خلية واحدة خلف السريان مرة أخرى. وبهذه الطريقة، يمكن أن يتوقف التقدم ويعيد الابتداء، ربما لمرات عديدة، كما هو مشاهد في الحقل مع التقدم المتوقف تقريباً.

(١٣,٦,١٠) تقريب الموجة الكينيماتيكية

في حين أن تقريب القصور الذاتي الصفري يكون صالحاً بفرض فقط أن يكون رقم فرود للتدفق منخفضاً بدرجة كافية، إلا أنها تصبح غير فعالة بشكل متزايد للتطبيق بزيادة انحدار ميل القاع. وعند هذا يصبح المقطع الجانبي للتدفق منتظماً تقريباً على امتداد طول المجرى المائي، وفقط عند النهاية يكوّن شكلاً حاداً لأسفل نحو صفر عمق عند أول مقدمة الموجة. ولأجل تطبيق قاعدة شبه المنحرفة للتكامل الرقمي عبر الشرائح التي تكوّن المجرى السطحي، فإنها تكون بحاجة إلى أن يتم جعلها أصغر وأصغر تجاه المقدمة. وهناك استجابة عددية نموذجية لشبكة شديدة الخشونة قرب مقدمة الموجة وهي وجود صورة أو نتوء عند المقدمة، والتي إذا كانت كبيرة بشكل كافٍ فإنها

تكون مصحوبة بعمق سلبي يقع للخلف تماماً، مما يوقف الحسابات. ولتجنب المشكلة مع عقد- x الثابتة في سياق الهيدروديناميكا أو القصور الذاتي الصفري، فإن كل الخلايا يجب أن تكون صغيرة.

وفي نفس الوقت، فمع وجود ميل قاع كبير، فإن القوى الناتجة من الفرق في الضغط على أوجه الخلايا يصغر بسبب كل من مكون وزن المجرى المائي أسفل الميل والمقاومة الذي يقاوم التدفق. فمن الضروري عندئذ أن يكون المجرى المائي عند عمق طبيعي - بالنسبة للتصرف المحلي - في كل مكان على امتداد طوله. وهذا يكفي لموافقة شروط الموجة الكينيماتيكية الموجودة (Lighthill and Whitham, 1955)، بمعنى، أن العلاقة الفريدة بين التصرف ومساحة المقطع عند أي موقع في المجرى المائي، وعلى وجه التحديد، في هيدروليكا القناة المكشوفة:

$$S_f = S_0 = \frac{Q^2}{K^2} \qquad (١٣,٥٣)$$

والتي فيها K تفريغ قناة الري (المعادلة رقم ١٣,٥)، وهي دالة في x و A_y، أو في A_y وحدها في القناة المنتظمة المنشورية. وبالتعويض بالمعادلة رقم (١٣,٥٣) (ثاني المعادلات رقم (١٣,٤٨) مع حذف الحد $\partial y/\partial x$ وحد العجلة) في المعادلة الأولى من المعادلات رقم (١٣,٤٨) (الاستمرارية) تنتج معادلة الموجة الكينيماتيكية:

$$\frac{\partial A_y}{\partial t} + w\frac{\partial A_y}{\partial x} = -\frac{\partial A_z}{\partial t} - Q_x^{A_Y} \qquad (١٣,٥٤)$$

وفي قناة غير منتظمة، تكون العلاقة بين التصرف والمساحة معتمدة على الموقع x، وبهذا فإن المعادلة:

$$w = \frac{\partial Q(A_y, x)}{\partial A_y} \qquad (١٣,٥٥)$$

بينما

$$Q_x^{A_y} = \frac{\partial Q(A_y, x)}{\partial x}$$

تصف عدم الانتظامية، سواء كانت ميلاً متغيراً، أو مقطعاً عرضياً، أو خشونة. وفي قناة منتظمة، تكون $Q_x^{A_y} = 0$، وتكون:

$$w = \frac{dQ}{dA_y} = \frac{\sqrt{S_0}}{B(y)} \frac{dK(y)}{dy} \qquad (١٣,٥٦)$$

وتم الحصول على حلول الموجة الكينيماتيكية تحليلياً أو شبه تحليلي، اعتماداً على دالة التسرب المختارة، على سبيل المثال، عن طريق (Sherman and Singh, 1982)، و(Singh and Ram, 1983)، و(Weir, 1983, 1985). والحل الرقمي الصحيح نظرياً للمعادلة رقم (١٣,٥٤) سوف يتبع عائلة مفردة من منحنيات التمييز في السطح $x - t$، مع كل منحنى بميل عكسي $w(x,t)$ (Garabedian, 1964; Smith, 1972; Strelkoff, 1985)، ولكن على حساب بعض التخفيف العددي (Hromadka II and DeVries, 1988)، فإنه يمكن الحصول على حل عددي عملي لتقريب الموجة الكينيماتيكية بدلالة نفس الشبكة المستطيلة (الشكل رقم (١٣,٧)) كما هو الحال مع أشكال القصور الذاتي الصفري والأشكال الهيدروديناميكة الكاملة. ويكشف تحليل حلول التمييزات عن العناصر الضرورية لسلوك الموجة الكينيماتيكية التي يمكن وضعها على الشبكة المستطيلة. وعلى سبيل المثال، ليس من الممكن وجود شرط حدي مستقل لمصب (خلف) السريان، فالشروط التي توجد عند نهاية مصب (خلف) السريان من القناة يتم التحكم بها بشكل تام بشروط منبع (أمام) السريان. فمقدمة الموجة في حالة التقدم تكوّن خطوة في العمق (ومساحة مقطع A_{yF})، مرتبطة بالتصرف هناك، Q_F، من خلال المعادلة رقم (١٣,٥٣). وسرعة المقدمة، w_F، التي تتقدم على قاع جاف تعطى بالعلاقة:

$$w_F = \frac{Q_F}{A_{yF} + A_{zF}} \quad (١٣,٥٧)$$

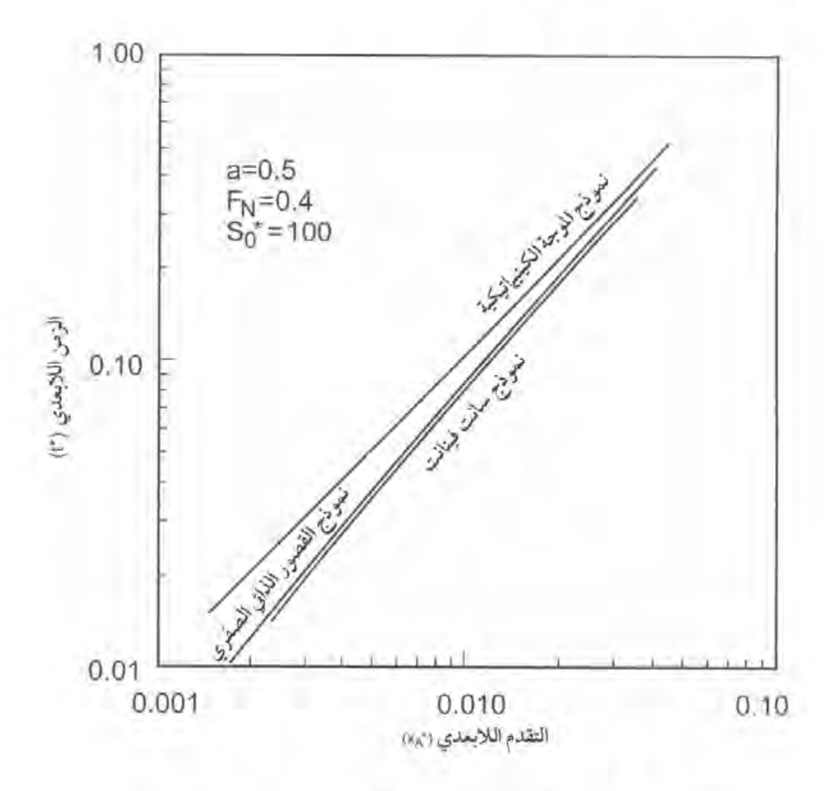
على ألا تكون قيمة A_{zF} مساوية للصفر فقط إذا كان الحد c في معادلة التسرب التراكمي للزمن، والمعادلتان رقم (١٣,١١)، ورقم (١٣,١٥)، لا يساوي صفراً. وبالإضافة لذلك ففي المعادلة رقم (١٣,٤٣) ولتأكيد أهمية شروط منبع (أمام) السريان في المجرى السطحي، توضع ϕ_{YL} بما يساوي الوحدة، وتوضع ϕ_{YR} بما يساوي الصفر. وأخيراً، فإن حل الموجة الكينيماتيكية الحقيقي، في مقابل الحلول الأخرى، يوضح التقليل الفوري لصفر عمق عند طرف منبع (أمام) السريان عند قطع التدفق. وعند مصب (خلف) السريان من هذه النقطة، تنخفض الأعماق تدريجياً، بما يؤدي إلى حافة خلفية سريعة. ويمكن أن يوضح تقريب الفرق النهائي للمعادلة رقم (١٣,٥٤) على الشبكة $x - t$ زمن تأخر غير صفري واقتراباً تدريجياً للصفر عمق عند طرف منبع (أمام) السريان، ولكن هذه النتيجة ترجع إلى خطأ التقريب الرقمي، ولا تمثل حل موجة كينيماتيكية صحيحاً ولا القصور الذاتي الصفري المناظر أو حل سانت فينانت.

(١٣,٦,١١) قابلية تطبيق افتراض الموجة الكينيماتيكية

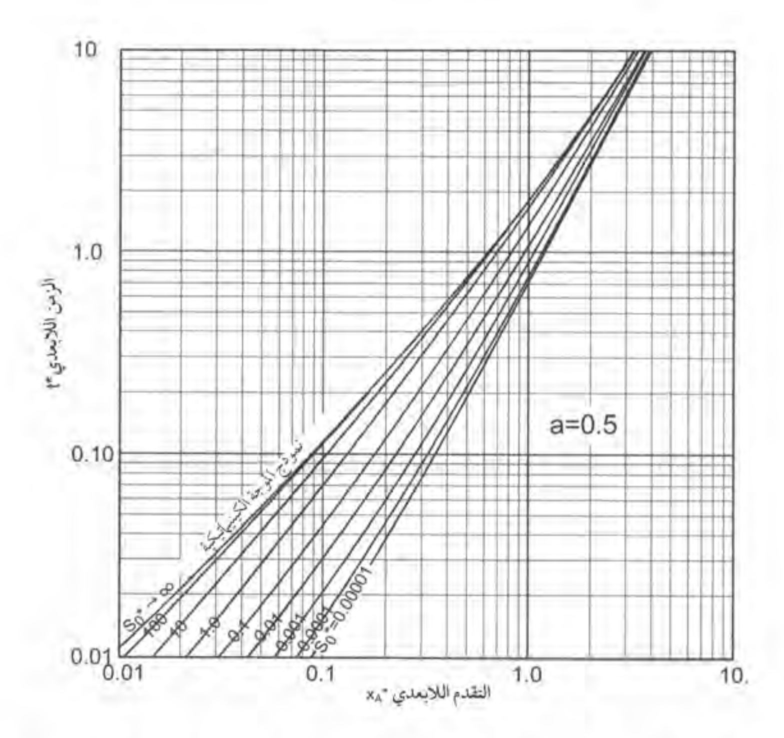
تعد نظرية الموجة الكينيماتيكية غير ذات جدوى في الأحواض أو الخطوط المستوية، وعندما $S_0 = 0$، تصبح المعادلة رقم (١٣,٥٣) متعذرة ولا يوجد عمق طبيعي. وبدلاً من هذا، يرتفع العمق عند مدخل التدفق المستقر بلا حدود، حتى قطع التدفق. وفي حالة وجود منحدرات غير صفرية وموجبة، فإن الشكلين رقم (١٣,١١)، ورقم (١٣,١٢) يوضحان الشروط التي ينتج تحتها تقريب الموجة الكينيماتيكية وإعطاء نتائج قريبة من الحلول الكاملة لمعادلات سانت فينانت، أو تقريب القصور الذاتي الصفري. إن العوامل المذكورة اللابعدية هي نفسها التي توجد في المعادلتين رقم (١٣,٥٠)، ورقم (١٣,٥١).

ولإرشاد القارئ بدلالة العوامل النموذجية البعدية، مثلاً في مقطع شريحة مروي، مع تدفق q_0 قدره ٤ لتر/ث/م، وS_0 تساوي ٠,٠٠١، و n تساوي ٠,٠٤،

و k تساوي ٣٠ مم/ساعة[أ]، و a تساوي ٠,٥ ، يتبع هذا أن يكون ميل المرجع، Y_R / X_R ، يساوي ٠,٠٠٠٠٦٢٥ ، وأن يكون الميل النسبي S_0^* ، يساوي ١٦. ومن الشكل رقم (١٣,١٢)، فمع X_R تساوي ٦٧١ م، فإن الخطأ في زمن التقدم حتى ١٠٠ م باستخدام نظرية الموجة الكينيماتيكية سوف يكون حوالي ٥٪ لأعلى. ويعطي الشكل رقم (١٣,١٣) مؤشراً لكمية الزمن التي مرت، كدالة في الميل النسبي S_0^* ، قبل أن يتحقق العمق الطبيعي عند طرف منبع (أمام) السريان. وتفترض نظرية الموجة الكينيماتيكية أنه عند كل نقطة في المجرى السطحي، فإن العمق يكون فورياً عند العمق الطبيعي بالنسبة للتصرف الموجود.



الشكل رقم (١٣,١١). مقارنة لنماذج المحاكاة في تقدم المجرى المائي.



الشكل رقم (١٣,١٢). تأثير ميل القاع اللابعدي على التقدم: قابلية تطبيق نموذج الموجة الكينيماتيكية.

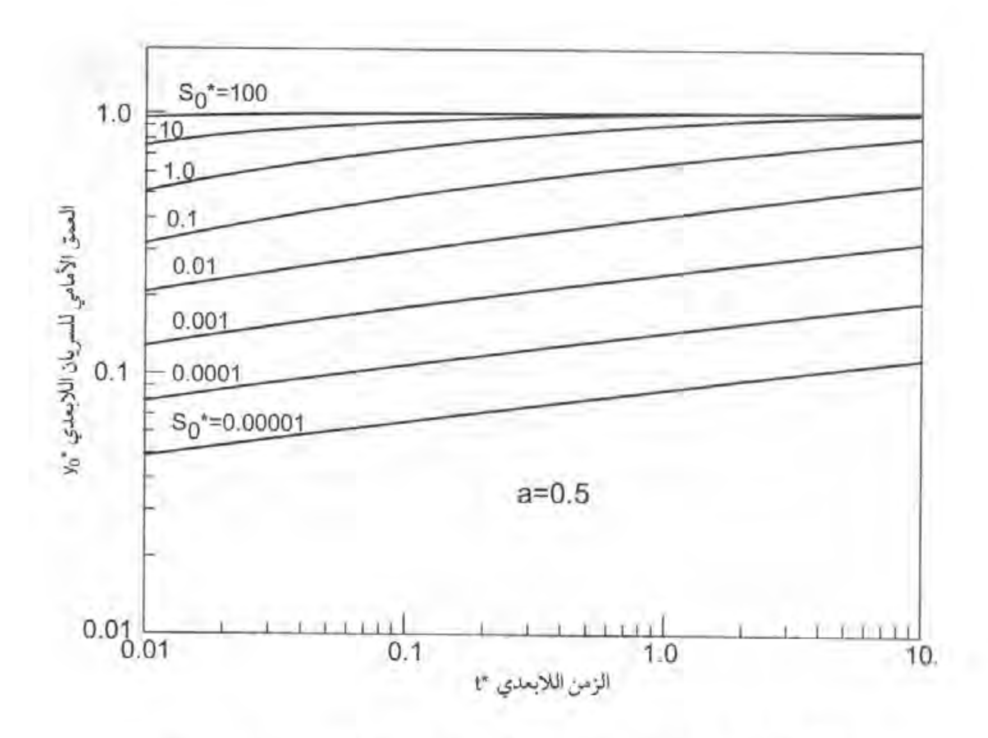
وبشكل واضح، يعد المجرى الطويل على المنحدر الحاد هو التطبيق المثالي. وتوضح المجموعة الكاملة للمنحنيات من نوع الشكل رقم (١٣,١٢) مع وجود a في المدى $0.1 \le a \le 0.9$ ، التي يعرضها (Katopodes and Strelkoff, 1977b) وأن قيمة $S_0^* x_A^* > 20$ تكون مطلوبة للأخطاء الصغيرة في التقدم. ويتبع هذا أن نسبة ميل القاع إلى نصيب العمق الطبيعي وطول المجرى المائي يجب أن يتجاوز ٢٠، أي:

$$\frac{y_0}{x_A} < \frac{S_0}{20} \qquad (١٣,٥٨)$$

في حالة الحسابات الدقيقة المنطقية للتقدم.

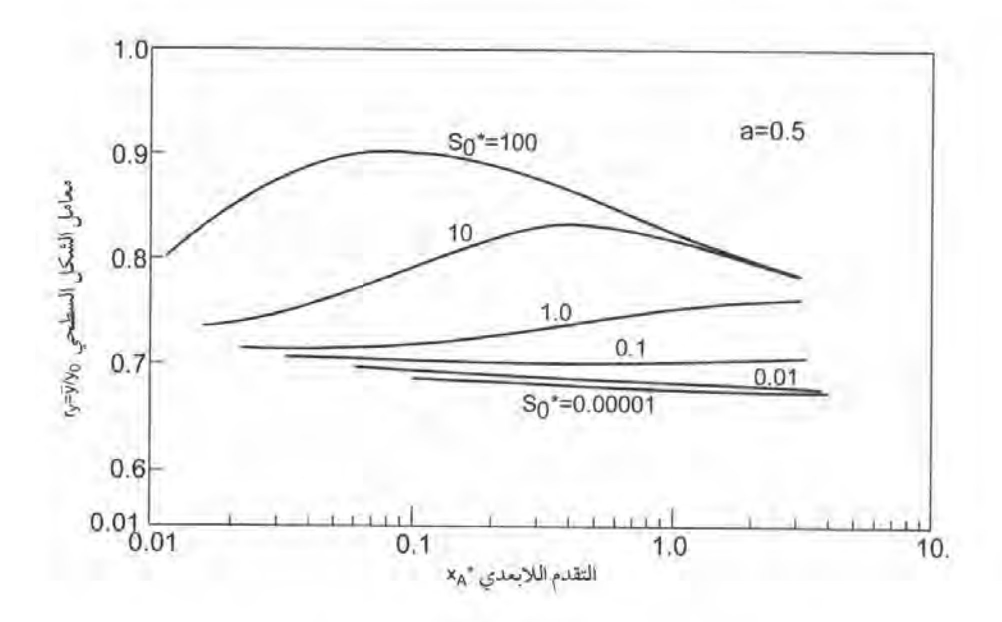
(١٣,٦,١٢) متوسط عمق التدفق السطحي في قطاعات الشرائح والأحواض

لقد تم حل الصيغ اللابعدية لمعادلات القصور الذاتي (العطالة) الصفرية، رقم (١٣,٤٣)، ورقم (١٣,٥٢) ، $(F_N = 0)$ لتقدم سريان المياه مع سلسلة من S_0^* (Katopodes and Strelkoff, 1997b). وهناك ملاحظة للارتفاع التدريجي تقريباً لعمق منبع (أمام) السريان في الشكل رقم (١٣,١٣)، في حين أن التغير في معامل شكل المقطع الجانبي للسطح (المعادلة رقم (١٣,٢٦)، والجزء رقم (١٣,٥,١)) مع كون التقدم موضحاً في الشكل رقم (١٣,١٤). مثل هذه المنحنيات تعمل على تكوين معيار تقوم الافتراضات مقابله بإنتاج متوسط مقطع عرضي للمجرى المائي يمكن قياسه (الجزء رقم ١٣,٥,٣).



الشكل رقم (١٣,١٣). زيادة العمق الأمامي للسريان كدالة في الميل النسبي للقاع.

وعلى وجه التحديد، فإن اختبار الشروط في الشكل رقم (١٣,١) والشكل رقم (١٣,٢) في ضوء الشكل رقم (١٣,١٣) يفسر التعارض الكبير في بعض الأحيان بين المشاهدات الحقلية والنظرية المبسطة المذكورة في الجزء (١٣,٥,١) والجزء (١٣,٥,٣). وفي حين أن الشكلين رقم (١٣,١٣)، ورقم (١٣,١٤) تم رسمهما باستخدام معامل كوستيكوف a = 0.5 ، ولا يمكن توقع أن تمثل شروط قيم أخرى، فإن التقدير الكيفي للتغيرات يكون ممكناً برغم ذلك. وبالمثل يمكن توقع أنه يمكن تطبيق اعتبارات مماثلة على الخطوط في الحقل. ومؤخراً تم تطوير قاعدة بيانات لابعدية لمتوسط أعماق مياه السطح في الري بالشرائح للاستخدام مع النماذج الهيدرولوجية (Monserrat and Barragan. 1998).



الشكل رقم (١٣,١٤). تقييم معامل شكل المجرى المائي السطحي كدالة في ميل العمق النسبي.

(١٣,٦,١٣) نمذجة عملية الري السطحي ثنائية البعد

يتدفق الماء في بعض نظم الري السطحي، على سبيل المثال، في أحواض واسعة أو قطاعات شرائح مع وجود ميل عرضي، وهي لا تمتلك مثل هذا الاتجاه الطولي السائد بحيث إن السرعات والتغيرات المستعرضة في ارتفاع مياه السطح تكون مهملة. وفي هذه الحالة تظل القوانين الفيزيائية التي تُبنى عليها عمليات المحاكاة هي قوانين حفظ الكتلة وكمية الحركة مع وجود التسرب العملي ومقاومة التدفق، ولكن الآن لابد من التعبير عن هذه المؤثرات بدلالة اتجاهين إحداثيين فرعيين، x_1 ، و x_2 وأيضاً بدلالة الزمن t . ولتحديد الدراسة لبعدين فقط، فمن المفترض مرة أخرى أن يكون توزيع الضغط في الاتجاه الرأسي هيدروستاتيكياً. ومن المفترض بشكل ضروري أن يكون توزيع السرعة في الاتجاه الرأسي منتظماً، ممثلاً بمتجه متوسط سرعة تدفق $\vec{V}(x_1, x_2)$ موجه بزاوية للاتجاهين x_1 ، و x_2 . وقد تم مناقشة متجه المقاومة (السحب) في الجزء رقم (١٣,٣,٢)، حيث كان من المفترض أن يكون التسرب دالة فقط في زمن الفرصة.

وقد تم حل المعادلات وثيقة الصلة بهذا الموضوع في سياق انكسار-السدود أثناء الفيضان، وهي مشكلة شبيهة بالري السطحي ولكن بمقياس أكبر، عن طريق تقنيات العناصر المحدودة على سطح مستو (Akanbi and Katopodes, 1988)، وعن طريق الاختلافات المحدودة التي يتم تطبيقها عشوائياً على خلايا الشبكة المناسبة عبر تضاريسية السطح مقاسة (B ellos *et al.,* 1991). وعند الإضافة المباشرة للري السطحي، يميز بلايان وآخرون Playa'n *et al.* (1994) معادلات سانت فينانت الكاملة بالمقاومة المتماثلة وقاع منتظم على مخطط قافز مركزي. ولأجل الملاءمة الحسابية، للسماح بحل معادلات الموجة في كل مكان (في حساب مباشر) بدلاً من فقط الحل في المنطقة التي يغطيها تقدم المجرى المائي، فإن عمقاً صغيراً تم افتراضه في المناطق الجافة اسمياً، مع الفرض المتضمن أن المقدمة المتقدمة كونت ثقباً هيدروليكياً. وعدل بلايان وآخرون Playa'n *et al.* (1996) المخطط لوضع سطح التربة المنتظم. وحل ستريلكوف

وآخرون Strelkoff *et al.* (2003a) معادلات القصور الذاتي الصفرية على تضاريس غير منتظمة، مع الاتفاق الجيد مع التقدم المقاس والمنحنيات المائية للعمق-السطح (Clemmens *et al.*, 2003). وقد سمحت الطبيعة المكافئة للمعادلات المتحكمة بالحساب المباشر لكل من المناطق الجافة والمبللة بدون افتراض وجود حمل للحافة المتقدمة (مشابه لتقدم الحرارة في قضيب معزول، قد تم تسخينه فجأة عند أحد الأطراف (Carslaw and Jaeger, 1959). ولضمان أنه لم يتم حساب المياه على أنها تتدفق من نقطة جافة عالية إلى نقطة منخفضة، وهو نتيجة محتملة للحساب المباشر، فقد تمت مراقبة مستويات المياه والتدفق المسموح بها فقط من الخلايا المبللة. وبالمثل، فقد تم السماح للتسرب فقط من الخلايا التي بها عمق مياه كافٍ حتى لا تصير جافة عبر مرور الخطوة الزمنية.

(١٣,٦,١٤) العرض العام اللابعدي لمحاكاة وأداء الري السطحي

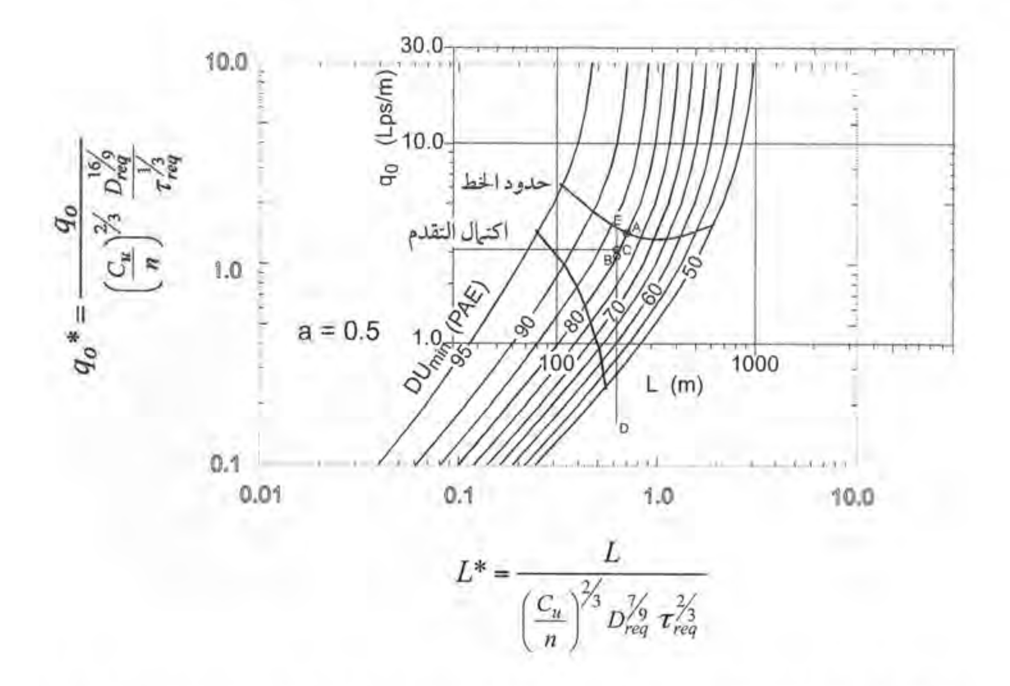
كما هو ملاحظ من قبل، فإن التعبير عن المعادلات المتحكمة، والشروط الحدية، والحلول في الصيغ اللابعدية (عديمة الأبعاد) أدى إلى التبسيطات التي تسمح بالعرض العام للنتائج. ويوضح الشكل رقم (١٣,٤)، في صفحة واحدة من الأشكال البيانية، كل منحنيات التقدم المحتملة في قطاعات الشرائح، والتي تتعرض لافتراضات أن متوسط عمق مياه السطح يكون ثابتاً مع الزمن وأن التسرب التراكمي يتبع بعض قوانين الطاقة مع الزمن. ويعد الشكل رقم (١٣,١٢) واحداً من أصل تسعة أشكال (شكل واحد لكل قيمة من معامل كوستيكوف a تساوي ٠،١، ٠،٢، ....، ٠،٩)، والذي يوضح التقدم اللابعدي مسبق القطع $x^*(t^*)$ في الشرائح المائلة بدون وجود افتراضات صارمة. ويُسمح لعمق مياه السطح بالتغير مع الزمن والمسافة طبقاً للقوانين الفيزيائية التي تحكم سلوكها، وبهذا، فهي تعد دالة في الميل النسبي S_0^*.

وبمجرد تذكر أن تقدم الماء مسبق القطع في مقطع الشريحة دال في a، و k، و n، و q_0، و S_0، يتضح أنه لعرض نفس البيانات في أشكال بيانية لها أبعاد لقيم $x_A(t)$ مع خمسة معاملات مستقلة سوف تتطلب الاطلاع على مجموعات عديدة من

كتب المنحنيات البيانية، وبهذا تكون ميزة التمثيل اللابعدي واضحة. وهناك الكثير من النظم المحتملة لمتغيرات المرجع، وكل منها يؤدي إلى نتائج تشير إلى أحد الجوانب أو غيره من هيدروليكا الري (انظر Strelkoff and Clemmens, 1994، لمناقشة مكثفة للمنحنيات التخطيطية المتعددة).

إن فرص توفير الفراغ التي يتم القيام بها عن طريق استخدام العوامل اللابعدية قد أدت إلى تطوير قاعدة بيانات لعمليات المحاكاة مسبقة التشغيل التي تغلف عروض ظاهرة بعينها. فعلى سبيل المثال، فإن عرضاً لأداء ري في الأحواض المستوية بوجه عام قد أدى إلى ابتكار برامج المساعدة في التصميم، BASIN (Clemmens *et al.*, 1995a) التي تسمح للمستخدم برؤية بشكل افتراضي لحظياً أي الأبعاد الفيزيائية وظروف التشغيل التي تؤدي إلى كفاءات إضافة محددة. وفي قلب BASIN هناك جداول لقيم DU_{min} (نفس قيم PAE_{min}) كدالة في ثابت كوستيكوف a والطول اللابعدي ووحدة معدل التدفق بناءً على عوامل المرجع الأساسي D_{req}، و τ_{req}، ومعامل مانتق n، والعوامل الحقلية التي من المفترض معرفتها عند القيام بالإعداد لعملية التصميم. ويوضح الشكل رقم (١٣,١٥) الذي رسمه ستريلكوف وكليمينز Strelkoff and Clemmens (1994) الحالة التي يكون فيها a = 0.5 (ماعدا أن العمق المستهدف في هذه الحالة يوضع عند ١٠٠ مم، وزمن التسرب لهذا العمق، ٢١٠ دقيقة، ومعامل مانتق n يساوي ٠,١٥ م$^{٦/١}$، انظر عينة تصميم الحوض المستوي أدناه). وتتميز كل نقطة على الخطوط الكنتورية بأدنى عمق للتسرب في الحوض قدره ١٠٠ مم. وهناك توضيح لمجموعتين من المقاييس: المقاييس عديمة الأبعاد (اللابعدية)، والتي تكوّن قاعدة البيانات الدائمة، والمقاييس التي لها أبعاد لمجموعة محددة من أوضاع الحقل الميدانية. وفي حقل ما، تختلف كلتا المجموعتين بحدود مضروبة ثابتة (عوامل المرجع X_{Rc} و Q_{Rc}، Strelkoff and Clemmens, 1994). والمنحنى الذي يُسمى باكتمال التقدم يمثل شرط تشغيل قطع التدفق عند وقت وصول المجرى المائي لنهاية خلف (مصب) السريان. وتوضح المنحنيات أنه في حالة وجود طول محدد للحوض، يمكن

تحسين الأداء عن طريق زيادة وحدة التدفق بينما يتم بدء القطع قبل اكتمال التقدم، بما يسمح للمجرى المائي أن "يهبط بفعل الجاذبية" إلى النهاية بعد القطع. ومع هذا فإن زيادة انحدار الخطوط الكنتورية DU عند معدلات التدفق العالية، توضح أن هناك حدوداً لخطوات العمل هذه. وقد اقترح كليمنس وديدريك ,Clemmens and Dedrick (1982) قيوداً عملية على العملية، موضحين أن الاعتماد المفرط على الهبوط بفعل الجاذبية حتى النهاية يمكن أن يترك الطرف العالي جافاً إذا لم تكن أوضاع الحقل الميدانية معروفة بدقة، وقيود اقتراحهما موضحة باسم قيد الخط.



الشكل رقم (١٣,١٥). كفاءة الإضافة المحتملة (DU) في الأحواض المستوية. المقاييس التي لها أبعاد والتي ليس لها أبعاد: الطول: وحدة التدفق. ثابت كوستيكوف: $a = 0.5$. (أ) الطول المحدد في حالة DU = ٨٠٪، ٢٢٩م، (ب) الطول العملي عند DU = ٨٠٪، ٢٠٠م، والعرض = ٦٣م، (ج) العرض العملي = ٧٥م، وDU = ٨١,١٪.

(١٣,٦,١٤,١) مثال تصميمي لحوض مستو

عند رسم التصميم الفيزيائي للمثال (صفحة ٤-١ Clemmens *et al.*, 1995a)، فإن المصمم يبحث عن تحقيق قيمة مستهدفة من DU_{min} تساوي ٨٠٪ في كل حوض بالحقل مع خواص التسرب والخشونة سالفة الذكر، بعرض للحوض ٦٠٠ م، وطول ١٢٠٠ م، ومصدر المياه المتاح قدره ٢٣٠ لتر/ث. ويقوم هو أو هي بالبحث عن طول مقيّد. وتمثل النقطة A في الشكل رقم (١٣,١٥) نقطة التشغيل المناظرة لطول قدره ٢٢٩ م (وحدة التدفق المناظرة، q_0 تساوي ٣,٦٥ لتر/ث/م في المقدمة، مع المصدر الكلي المتاح الذي يبلغ ٢٣٠ لتر/ث، وحتى عرض قدره ٦٣ م). ومع تقسيم ١٢٠٠م، وهو طول الحوض المختار، بشكل متساو كل ٢٠٠ م. والنقطة B في الشكل رقم (١٣,١٥) هي نقطة التشغيل لطول ٢٠٠ م وتساوي DU_{min} ٨٠٪. وهذا مناظر لعرض قدره ٨٤ م. والنقط الواقعة بين D و E في الشكل رقم (١٣,١٥) (حيث D نقطة تشغيل متوسطة لكل قيمة منخفضة من DU_{min} و E تمثل العرض المقيد الأول) تكون متاحة للمصمم لاختيار عرض عملي معين. ويكون هناك ثمانية أحواض عرض كل منها ٧٥ م وطولها ٢٠٠ م، L ، عند تقسيم الحقل المتاح بالتساوي مما يؤدي إلى أن تبلغ DU_{min} ٨١,١٪ (نقطة التشغيل C). ويكون زمن القطع المناسب، الذي يتم حسابه من اتزان الحجم البسيط، $t_{co}q_0 = LD_{req} / DU_{min}$ يساوي ١٣٤ دقيقة. إن منحنيات التقدم اللابعدية والتي يتم تخزينها في قاعدة بيانات BASIN تسفر عن تقدم لطول ١٧٦ م مقابل القطع، والدليل المفيد لإدارة التدفق في (Clemmens, 1998).

وباستخدام البيانات المدخلة المستنتجة من القائمة (التي لها أبعاد) بالنسبة للوضع الحقلي وأهداف التصميم ثم القيام بأداء كل الاتصالات بين البيانات اللابعدية والبيانات البعدية الموضحة في الشكل رقم (١٣,١٥)، وكذلك القيام بعمليات الاستكمال القياسي والحسابات للحصول على عمق مستهدف محدد عن طريق أدنى قيم في التوزيع التالي للري للأعماق المتسربة. ولا يمكن للمستخدم على الإطلاق رؤية المنحنيات الممثلة في الشكل رقم (١٣,١٥)، حيث إنها تبقى في النهاية.

(١٣,٦,١٤,٢) مقطع الشريحة المائلة مع حدوث جريان سطحي للمياه في نهاية الحقل

يتم التحكم بخطوط الشريحة المائلة مع حدوث جريان سطحي للمياه في نهاية الحقل عن طريق عدد أكبر من المعاملات المدخلة مقارنة بالأحواض المستوية، وقد تم توظيف إستراتيجية مختلفة لقاعدة البيانات اللابعدية التي تقع داخل برنامج مساعدة التصميم، BORDER (Strelkoff *et al.*, 1996; Strelkoff and Clemmens, 1996a). وتكون عوامل المرجع Q_R، و Y_R، و X_R، و T_R هي، على الترتيب، وحدة التدفق الغير معروفة، والعمق الطبيعي عند عمق وخشونة محددين، والعمق الطبيعي مقسوماً على ميل القاع، و $X_R Y_R / Q_R$. وهناك عدة آلاف من المحاكاة في نظام القصور الذاتي الصفري اللابعدي تم القيام بها (Shatanawi and Strelkoff, 1984; Strelkoff and Shatanawi, 1984) باستخدام تسرب كوستيكوف، أي، في مدى من $K^* = kT_R^a$، و a، وأزمنة التوقف اللابعدية في الشرائح الافتراضية غير المحدودة الطول، لهذا ينتهي التقدم قبل الوصول إلى نهاية الشريحة. ويمثل الحجم "المتسرب" بعد النهاية الفعلية لقطاع الشريحة الجريان السطحي الفعلي. وفي حدود طول الشريحة، يسمح معامل الشكل المخزون للقطاع الجانبي للتسرب التالي على الري بحساب أدنى عمق أو متوسط الربع المنخفض. وعند الاستخدام، مثلاً عند المساعدة في التصميم الفيزيائي، يتم إقامة شبكة من الشرائح بأطوال وعروض تغطي مدى اهتمام عوامل التصميم، وتؤدي التقريبات المتعاقبة التي تستخدم عمليات الاستكمال القياسي داخل قاعدة البيانات إلى أزمنة القطع على الشبكة والتي تتوافق تماماً مع العمق المستهدف، وكذلك سلسلة من معاملات الأداء.

ويمثل برنامج الحاسب الآلي خطوط مناسيب الأداء كدالة في أوضاع الحقل الميدانية، والتصميم الفيزيائي، وشروط التشغيل. وفي هذه الحالة، لا يجب على المستخدم وضع مستوى أداء مرغوب مقدماً، فخطوط المناسيب توضح أعلى مستوى أداء يمكن أن يتحقق في حقل ما، والمصدر المائي المتاح، والعمق المستهدف، وكذلك كيفية تحقيق مستوى محدد عن طريق اختيار معاملات التصميم. ويوضح الشكل رقم

(١٣,١٦أ) (Strelkoff and Clemmens, 1996b) عينة من خطوط المناسيب لكفاءة إضافة محتملة في حالة وجود حقل له الخصائص التالية :

معامل كوستيكوف : $k = 57.4\ mm/hr^a$ ، $a = 0.5$

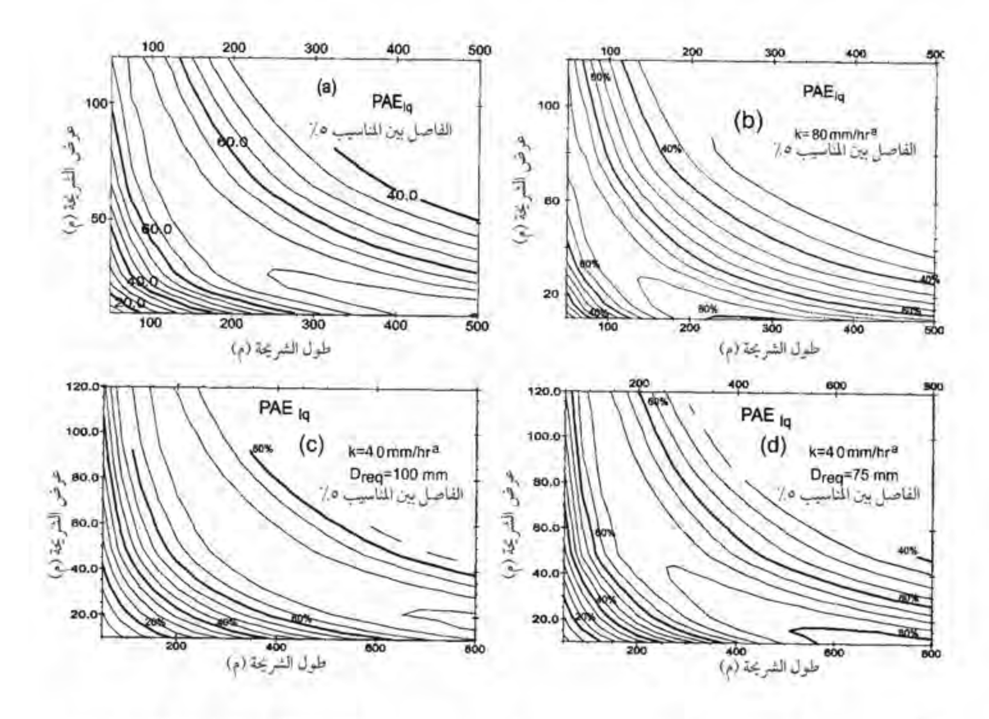
الميل : $S_0 = 0.001$ ، العمق المستهدف : $D_{req} = 100\ mm$

معامل माننق : $n = 0.10\ m^{1/6}$ ، تدفق الإضافة : $Q = 60\ L/s$

وهناك منحنى بياني مصاحب (غير موضح) يمثل النمط المناظر لأزمنة القطع المطلوبة لتحقيق الأداء. وبالإضافة لهذا، يمكن عرض خرائط مناسيب انتظامية التوزيع، والجريان السطحي، والتسرب العميق، وتقدم المجرى المائي عن زمن القطع، وتكلفة المياه لكل وحدة مساحة. ويوضح التمثيل البياني للمناسيب نقط تقاطع تصاميم كفاءة الإضافة العالية المحتملة العالية نسبياً (PAE)، مع وحدة معدلات التدفق المنخفضة (العرض الأكبر) المناظرة للأطوال الأقصر من الشريحة. وتكون الانحدارات قرب قمة التقاطع طفيفة، بما يتضمن أن لا تؤثر الأخطاء في تقييم الأوضاع الحقلية أو تنفيذ التصميم على كفاءة الإضافة المحتملة بدرجة كبيرة، وتوضح خطوط المناسيب متقاربة المسافات التغيرات الكبيرة في الأداء مع التغيرات الصغيرة في معاملات المداخل. وتتصاعد حافة الكفاءة تدريجياً مع الأطوال الأكبر، ووحدة معدل التدفق الأكبر، وأزمنة الإضافة الأقصر. وعند أعلى وأدنى وحدة معدل تدفق، مع هذا، تكون خطوط المناسيب قرب قمة الحافة أكثر قرباً معاً عما تكون عليه مع وحدة معدلات التدفق المتوسطة، التي تكون مثلاً حوالي، ١,٥ لتر/ث/م (٤٠ م عرض)، مما يوضح الحساسية المتزايدة لشروط المدخل.

ويوضح الشكل رقم (١٣,١٦ب) النمط المتبع في حالة التربة الأكثر رملية، مع بقاء كل الشروط الأخرى كما هي، وزيادة معامل كوستيكوف، وبهذا يصبح عمق التسرب التراكمي لساعة واحدة قدره ٨٠ مم. وبشكل كيفي، فإن نفس الملاحظات المسجلة للتربة الأصلية تنطبق هنا، ولكن عند أطوال أقصر. وبالعكس فإن الشكل رقم (١٣,١٦ج)، مع ثابت كوستيكوف، $k = 40\ mm/hr^a$ ، يتطلب أطوالاً طويلة جداً

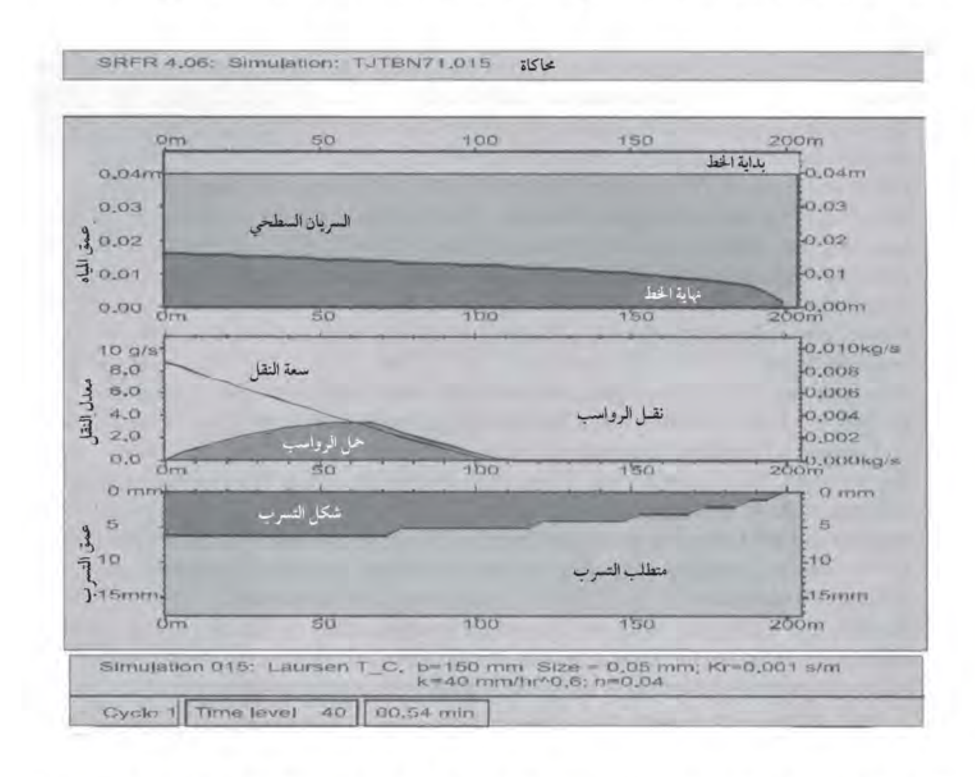
لتحقيق كفاءات إضافة محتملة قابلة للمقارنة (لاحظ التغير في المقاييس). ولكن عندما يتم اتخاذ قرار بالري أكثر تكراراً وأقل مقداراً، مثلاً مع ٧٥ مم إضافة مستهدفة كما في الشكل رقم (١٣,١٦د)، فإن الكفاءات الأعلى تعود إلى أطول خطوط الشريحة الأقصر. وهناك منحنيات بيانية (غير موضحة) توفر عرضاً عاماً لآثار إدارة التدفق في حالة وجود تصميم فيزيائي محدد.



الشكل رقم (١٣,١٦). خطوط المناسيب بالنسبة لكفاءة الإضافة المحتملة كدالة في طول وعرض الشريحة لأنواع التربة المختلفة. ويكون: معامل كوستيكوف $a = 0.5$، ومعامل مانق $n = 0.10\ m^{1/6}$، وميل القاع $S_0 = 0.001$، والإمداد المتاح من المياه $Q = 60\ L/s$، والعمق المستهدف (أ–ج) $D_{req} = 100\ mm$، ويكون: (أ) تسرب كوستيكوف $k = 57.4\ mm/hr^a$، و(ب) في حالة التربة الرملية أكثر: $k = 80\ mm/hr^a$، و(ج) في حالة التربة الأكثر تماسكاً: $k = 40\ mm/hr^a$، و(د) في حالة $k = 57.4\ mm/hr^a$، يكون العمق المستهدف $D_{req} = 75\ mm$.

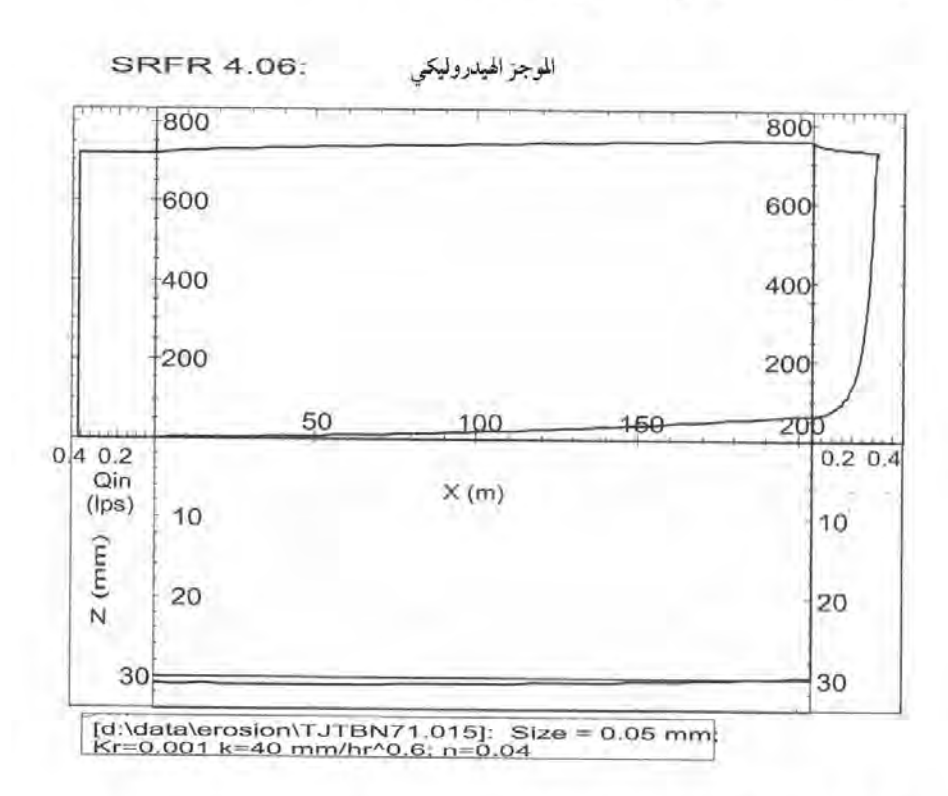
(١٣,٦,١٥) برامج المحاكاة سهلة الاستخدام، نقل المقومات

كما هو ملاحظ ، فإن مشقة الحل العددي للمعادلات من رقم (١٣,٤٣) حتى رقم (١٣,٤٧) بالترتيب ، وكذلك إضافة تنوع من الشروط الأولية والحدية لمدى من سيناريوهات الري السطحي أحادي البعد التي يتم مصادفتها يتم التعهد بها لبرامج المحاكاة سهلة الاستخدام المستنتجة من القائمة (SRFR 4.06, USDA, 1999; SIRMOD III, Walker, 2003). ويوضح الشكل رقم (١٣,١٧) إطاراً من الآلية التي تظهر سلوك المجرى المائي كما تم حسابه باستخدام SRFR في حالة الري بالخطوط ومع وجود مقاومة. وهناك تمثيل للقطاع الجانبي للمياه السطحية، وسعة نقل الرواسب،

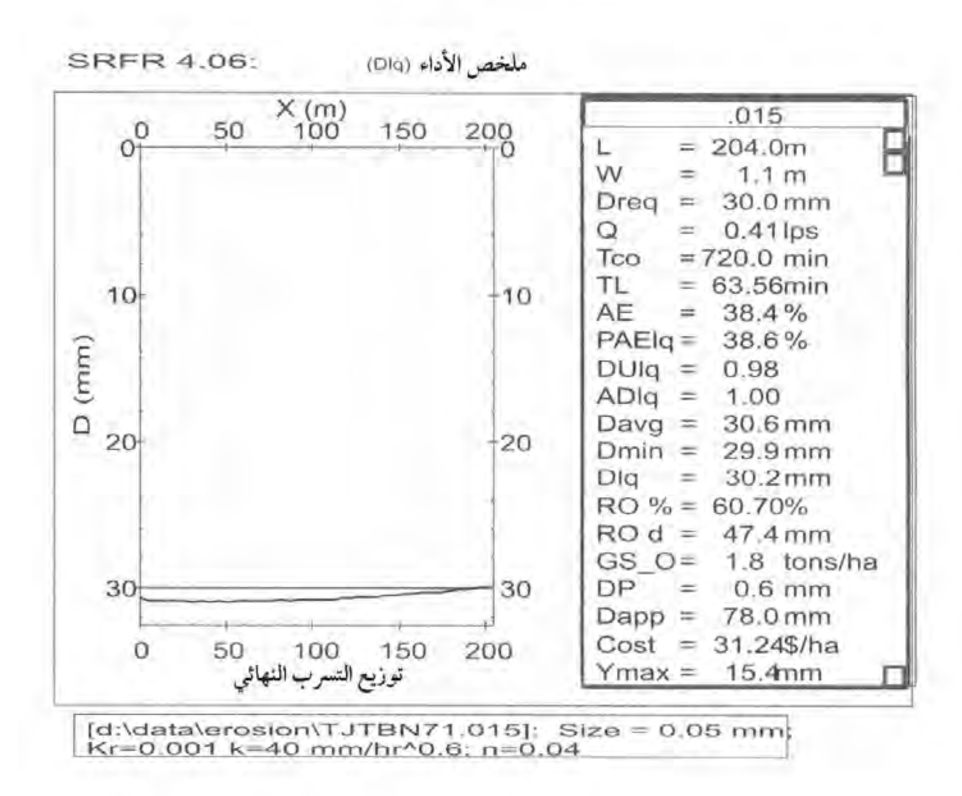


الشكل رقم (١٣,١٧). إطار التمثيل البياني كما تم حسابه من قبل SRFR أثناء تقدم الماء مع الانجراف الناتج من الري.

والمقاطع الجانبية للأحمال، والقطاع الجانبي للتسرب لمدة ساعة وربع في الري. ويعد الشكل رقم (١٣,١٨) موجزاً هيدروليكياً لما بعد الري لعملية الري، موضحاً المنحنى المائي للتدفق والتقدم الناتج، ومنحنيات الانحسار، والمنحنى المائي للجريان السطحي، والتوزيع النهائي للأعماق المتسربة. ويقوم برنامج الحاسب كذلك بإعداد قائمة من مؤشرات الأداء، والتي منها يمكن الحكم على جدوى طريقة الري (الشكل رقم ١٣,١٩)، والتي تشمل في هذه الحالة نقل الرواسب خارج الموقع، GS_O. وإن برنامج الحاسب الذي أطلقته USDA مجاني، ويأتي مع حوالي ١٥ ملفاً من عينات البيانات المدخلة، توضح عدداً من الحالات.



الشكل رقم (١٣,١٨). المخرجات البيانية لمحاكاة SRFR. ويوضح الموجز الهيدروليكي: المنحنى المائي للتدفق، والتقدم، والانحسار، والمنحنى المائي للتدفق الخارج، وتوزيع التسرب في نهاية الري.



الشكل رقم (١٣,١٩). المخرجات البيانية لمحاكاة SRFR لري الخطوط مع المقاومة. ملخص أداء يظهر مرحلة ما بعد الري وتوزيع التسرب لمجموعة من مؤشرات الأداء، بما في ذلك نقل الرواسب خارج الموقع، GS_O.

ويحتوي برنامج SIRMOD III على بعض إمكانيات تقدير التسرب الأساسية وكذلك وسائل مساعدة محددة لتصميم النظام. وقد سمحت التحسينات الأخيرة التي أجريت على SRFR للباحثين باستخدام مخرجات هيدروليكية لدراسة نقل المقومات الأساسية في تدفقات الري السطحي، مثلاً، بالإضافة إلى الرواسب (Strelkoff and Bjorneberg, 2001)، يتم وضع الأسمدة في الحل {Strelkoff and Clemmens,

Zerihum *et al.,* 2005, and Perea *et al.,* 2005 (بالحركة الأفقية فقط) و 2006 (بالحركة الأفقية والانتشار المضطرب)}. وهناك حالياً مشروع تحت الإنشاء تابع إلى USDA (Win SRFR) لجمع برامج DOS المستقلة عن برامج الحاسب، وSRFR، وBASIN، وBORDER سوياً مع نموذج تقييم الري وخواص الحقل في مجموعة WINDOWS متكاملة تسمح بتبادل المعلومات بين النماذج المتعددة بالنسبة للمدخلات والمخرجات (USDA-ARS, 2006).

(١٣,٧) تقدير المعاملات الحقلية

ليس من الممكن منطقياً القيام بالمحاكاة ولا بالتصميم بدون إدخال المعاملات الحقلية مثل التسرب والخشونة. ويلعب التسرب بوجه خاص دوراً هائلاً في نتاج الري السطحي. ومع التغير الموجود في الحقل وللنجاح المحدود لمعايير التسرب في التنبؤ حتى بالمعاملات الحقلية لشروط الري السطحي، فإنه من المنطقي استنتاج هذه المعاملات حتى مشاهدات عمليات الري الفعلية، وبالإضافة لذلك ربما يكون من الضروري تقدير التسرب والخشونة في الزمن الحقيقي، أي أثناء عملية ري- مثلاً أثناء التقدم المبكر- لتوقع كيف يثبت الري الناجح أنه هكذا، وكيف يمكنه القيام بهذا.

بشكل عام كلما كانت التفاصيل أكبر في القياس، كان التقييم أكثر دقة. ومن ناحية أخرى، فإن القياسات التفصيلية للأعماق السطحية في التدفق على سبيل المثال تعد مستهلكة للوقت ومكلفة. وبالتالي فهناك محاولات لتقدير المعاملات الحقلية في القياسات الأبسط، على سبيل المثال تقدم المجرى المائي.

وعلى كل حال، أياً كان وقت القيام بتقدير المعاملات الحقلية لوضعها في إجراء محاكاة أو تصميم، فإنه يجب القيام بتقدير إضافي للأخطاء المحتملة في كل معامل. وبهذا، يجب تنفيذ الإجراء لمدى من عوامل المدخل، مع إجمال النتائج التي تقع ضمن نطاق يوثق به. وبتعبير آخر، لا يجب التفكير في النتائج البيانية للمحاكاة أو التصميم كمنحنى له سمك خط القلم الرصاص، وإنما كجرة فرشاة عريضة، مع

النتائج الحقيقية التي تقع داخلها بعض الشيء. وإن مهمة المهندس أن يتوقع ليس فقط سلوك الخط المركزي لجرة الفرشاة، وإنما أيضاً تقدير سمكها.

(١٣,٧,١) حفظ الكتلة – اتزان الحجم

إن الأشكال الواضحة لحفظ الكتلة هي الأساس لكل الطرق المباشرة لتقدير العوامل. فأثناء التقدم يجب أن يساوي حجم التدفق حجم التسرب بالإضافة إلى حجم التخزين السطحي، كما هو معطى في المعادلة رقم (١٣,١٨). وفي حالة التدفق أحادى البعد، يكون التخزين السطحي معطى في المعادلة رقم (١٣,٢١)، في حين يكون الحجم المتسرب معطى بالمعادلة رقم (١٣,٢٣)، والذي يحتوي على كل من دالة التقدم ($x_A(t)$ أو $t_A(x)$، التي يمكن قياسها) ودالة التسرب (التي يتم البحث عنها). وكثير من الطرق المباشرة لتقدير المعامل تقوم على $V_Z((t))$ معلومة، تنتج من التدفق الداخل والتدفق الخارج المقاس، و $\overline{A}_Y$ حتى أعماق المياه السطحية المقاسة أو المقدرة.

(١٣,٧,١,١) تحديد خصائص التسرب بعد الري

من التطبيقات البسيطة للغاية والدقيقة نظرياً استخدام اتزان الحجوم لتقدير عوامل التسرب التي تنبع من تحليل ما بعد الري لمنحنيات التقدم والانحسار المقاسين. ومع اكتمال الري، فإن كل المياه السطحية V_Y إما أن تنصرف إلى الخارج أو تتسرب، في المعادلة رقم (١٣,١٨)، وبالتالي تساوي الصفر، وتكون V_Z معروفة من قياس التدفق الداخل V_Q ، والتدفق الخارج V_{RO} . وبالتالي يكون متوسط عمق التسرب معروفاً. وفي الواقع، ومن خلال اتباع اقتراح أولي من قبل ميريام (Merriam, 1971)، وكليمنس (Clemmens, 1981) اللذين قاما بتطوير معادلات تقديرات الشريحة بأكملها لثابت كوستيكوف k، إذا كان الأس a معروفاً من المصادر الأخرى. وإذا كانت معادلة كوستيكوف k الأساسية، $k\tau_o^a$، مفترضة، والتي فيها $\tau_o(x)$ زمن فرصة التسرب بين منحنيات التقدم والانحسار، وإذا كانت a مأخوذة على سبيل المثال، من بيانات الأسطوانة المزدوجة، فإن k يمكن إيجادها من معادلة الحجم الإجمالي المتسرب لكل وحدة عرض:

$$V_Z = kW\sum_{j=1}^{N}\tau_{oj}^{a}\ \delta x_j \qquad (١٣,٥٩)$$

والتي فيها تم تقسيم طول الشريحة فرعياً إلى عدد من الأجزاء N ، و τ_{oj} متوسط زمن الفرصة للجزء j^{th} ، و W محيط البلل الفعال، الذي من المفترض أن يكون ثابتاً، وبهذا تكون $A_Z = W_Z$.

وقام كلمينس (Clemmens, 1981) بتوسيع تقنية المعادلة رقم (١٣,٥٩) للمعادلات الفرعية رقم (١٣,١٤) بالنسبة للحالة الشائعة التي تم ضمنها تحقيق معدل التسرب الأساسي ضمن أصغر زمن فرصة مقاس. فعلى سبيل المثال في مقطع شريحة مع عمق، بعد الري للتسرب d عند أي محطة تعتمد فقط على زمن الفرصة هناك :

$$d = k\tau_B{}^{a} + b(\tau_o - \tau_B) \qquad (١٣,٦٠)$$

ويكون متوسط عمق التسرب عبر الشريحة (المعروفة من قياس التدفق الداخل والخارج) :

$$\bar{d} = k\tau_B{}^{a} + b(\bar{\tau}_o - \tau_B) \qquad (١٣,٦١)$$

ومع تقدير a، و b من بيانات الأسطوانة المزدوجة، ويتم إيجاد نقطة العبور τ_B بدلالة k من المعادلة الثالثة من المعادلات رقم (١٣,١٤) ويتم تعويض الناتج في المعادلة رقم (١٣,٦١)، لإنتاج التقدير الكلي لقيمة k (المبسطة، والمصححة) التالية :

$$k = \left(\frac{b}{a}\right)^{a}\left(\frac{\bar{d} - b\bar{\tau}_o}{1-a}\right)^{1-a} \qquad (١٣,٦٢)$$

ومن الأفضل تقدير τ_B من بيانات الأسطوانة المزدوجة أكثر من b، وتنتج b من :

$$b = \frac{a\bar{d}}{(1-a)\tau_B + a\bar{\tau}_o} \qquad (١٣,٦٣)$$

التي يتم الحصول عليها بعد إزالة k من المعادلة رقم (١٣,٦١) والمعادلة الثالثة من المعادلات رقم (١٣,١٤)، التي تنتج عندئذ k.

وتلعب تفاصيل دالة التسرب عند أزمنة الفرصة الأقل من أدنى تسرب مشاهد دوراً رئيسياً في توزيع المياه المتسربة عبر طول المجرى، والأكثر دقة سوف يكون تقدير الري. وفي نفس الوقت، يحذر كلمنس Clemmens *et al.* (2001a) من أن مدى ضيقاً من أزمنة الفرصة في تقدير المعامل يمكن أن يؤدي إلى أخطاء كبيرة في الأداء المتنبأ به لنفس التربة ولكن تحت شروط هيدروليكية مختلفة (مثل الميل، ومعدل التدفق، والطول، ... إلخ.)، ويكون السلوك النهائي للمجري المائي معتمداً على دالة التسرب الكاملة للزمن حتى نهاية الانحسار.

ويجب أن يكون من الممكن تجنب التقييم المستقل لـ a، إذا كان يتم ري شريحتين لنفس نوع التربة، ويتم تحليل تغيرهما مع زمن الفرصة، ومن حيث المبدأ يمكن حل كل من a و k عن طريق نيوتن-رافسون لزوج المعادلات غير الخطية. إن التكييف المفرط للمسألة بمزيد من عمليات الري والمعادلات سوف يسمح بمربعات أقل تلائم على أفضل نحو لكل من k وa. وهذا المنهج متعدد الشرائح لما بعد الري يقوم على المنهج الذي وصفه باور (1957) Bouwer والذي يؤدى في غياب الشكل الدالي للتسرب إلي جدول من التسرب التراكمي مقابل الزمن الذي ربما يميل إلى التذبذب، مثل نتائج فينكل ونر Finkel and Nir, (1960) المذكورة لاحقاً.

ويعد التحديد المستقل لقيمة a غير ضروري أيضاً لأنواع التربة التي يمكن أن تتميز من خلال عضويتها في عائلة محددة عملياً (الجزء رقم ١٣,٣,٣)، مثل، عائلات SCS (NRCS, 1984) أو عائلات ميريام وكليمنس (Merriam and Clemmens. 1985) المعايرة زمنياً. وكل من المعادلات تتميز بعلاقة ضمنية بين k، و a، كما في المعادلة رقم

(١٣,١٥)، أو رقم (١٣,١٧). إذن سوف يقوم حل نيوتن-رافسون لكل من k ، و a باستخدام الاشتقاقات الجزئية للمعادلة رقم (١٣,٥٩) (التي يعاد صياغتها في شكل $G_1 = V_Z - f[k,a] = 0$) بالنسبة إلى k ، و a ، وتلك التي تظهر من إعادة الصياغة، مثلاً، للمعادلة رقم (١٣,١٧):

$$G_2 = k - 10^{2-a\left(\frac{0.675-a}{0.2125}\right)} = 0$$

$$\frac{\partial G_2}{\partial k} = 1 \qquad (١٣,٦٤)$$

$$\frac{\partial G_2}{\partial a} = -\ln 10 \cdot 10^{2-a\left(\frac{0.675-a}{0.2125}\right)} \frac{2a-0.675}{0.2125}$$

ويمكن اشتقاق معادلات مماثلة للمعادلة رقم (١٣,١٥).

(١٣,٧,١,٢) تقدير المعامل الذي يتطلب مجموعة من المنحنيات المائية قريبة التباعد لتمثيل الري السطحي

عند النهاية الأخرى من نطاق البيانات الحقلية المطلوبة، فإن قياس مجموعة كاملة من المنحنيات المائية للعمق على امتداد طول المجرى أثناء الري يؤدي إلى اختلاف زمن الحجم المخزون مؤقتاً على السطح $V_Y(t)$ في المعادلة رقم (١٣,١٨). وبالتالي فمع معرفة التدفق الداخل والخارج، يمكن كذلك معرفة $V_Z(t)$. وبالإضافة إلى منحنيات التقدم والانحسار، $x_A(t)$ ، $x_R(t)$ (منتج ثانوي للمنحنيات المائية للعمق) فإنه يمكن استخدام هذه البيانات لاستنتاج معاملات تسرب الحقل.

هذا النوع من الطرق يتطلب مجموعات من البيانات أكثر كثافة، ولكنه مكبل بوجود أقل الافتراضات، ولهذا يعد أكثر التقنيات المباشرة اعتماداً على الفيزياء لكل التقنيات التي تعكس الشروط أثناء عملية الري الكاملة. وبناء على قانون حفظ الكتلة على الأغلب، فإن المشكلة الأولية تكمن في استخدام معادلات التسرب (وربما الخشونة) من البيانات المقاسة. وإن التقنيات التي تفترض جميعها أن تكون $V_Y(t)$

معروفة، والتي تعد دالة في الزمن، تختلف في الافتراضات التي توضع على الصيغ الدالية لدوال التقدم والتسرب.

وفي تطوير مبكر قام كل من فينكل ونر Finkel and Nir (1960)، بدون وضع افتراضات على صيغ دوال التسرب والتقدم، باقتراح مقلوب بياني لتقنية هول Hall's (1956) (الجزء رقم ١٣,٥,٤). ومبدئياً، فإن دالة تسرب مجدولة في الزمن يمكن إنشاؤها خطوة بخطوة، مع Δz لكل Δt. ولكن ما لم يتم اتخاذ الحذر الشديد بأن تكون الزيادات في الحجم السطحي دقيقة، وأن يكون الإنشاء محدوداً بعدد صغير من Δt، فإن نتائج Δz تبدأ في التذبذب وعدم الثبات. وهذا ينشأ بشكل واضح من تركيب المعادلة الجبرية المتحكمة، مقلوب معادلات هول. وأي خطأ في القياس أو الحساب يجب محوه عن طريق Δz المحسوبة حالياً، والخطوات المتعاقبة في الحساب التي تضخمها. ويعد الحساب التتالي، التقدم، ثابتاً مع تقنية هول، والعكس، في حالة التسرب.

وفي إجراء حاسب آلي تفاعلي مباشر (EVALUE)، يقوم ستريكوف وآخرون Strelkoff *et al.* (1999) بتركيب منحنيات بيانية لقيمة $V_Z(t)$ المقاسة وقيمة $V_Z(t)$ النظرية المحسوبة من تقديرات معاملات التسرب في صيغة دالية مختارة. ولم يتم الأخذ في الاعتبار بالمحيط المبلل المتغير، وتم افتراض أن المعاملات الغير معروفة ثابتة عبر الطول الكلي للمجرى. وإن التكامل الرقمي للحجم تحت المقطع المتسرب يتم تحسينه عن طريق عوامل الوزن القائمة على نسبة الأعماق المتسربة المحسوبة عند كل نهاية من جزء المقطع وعلى القانون الأسي المفترض (مع الأس a) للعمق مقابل مسافة العودة من الحافة المتقدمة. ويتم تعديل قيم المعاملات عن طريق لوحة المفاتيح إلى أن يصبح المستخدم راضياً عن التوافق بين المنحنيين. وبالإضافة إلى دالة الزمن، يتم أيضاً رسم القيم النهائية للحجم المتسرب للحصول على التوافق. ويمكن اختبار الصيغ الدالية المتعددة لحظياً مع المعاملات في هذه الصيغ. وهذا المنهج يهدف إلى اختيار تلك المعاملات التي تقوم على أفضل نحو بتمثيل المدى الزمني للري بأكمله. ومن نتائج الحساب الثانوية تحديد قيم معاملماننق n عند المحطات، التي تم حسابها من المعادلتين

رقم (١٣,٤)، ورقم (١٣,٦) عن طريق حساب التصرف المحلي من معادلة الاستمرارية ووضع S_f لميل سطح المياه المعطى بالقطاعات الملساء التي تم استنتاجها من المنحنيات المائية المقاسة ويكون المتوسط قيمة تمثيلية لمعامل مانّنق n في حالة الري.

وقام ماهيشيري وآخرون Maheshwari *et al.* (1988) بالعمل على الري بالشريحة في التربة الطينية المتشققة (ومن الضروري أن تساوي k و a من المعادلة رقم (١٣,١١) الصفر في كثير من الحالات) بوضع طريقة مماثلة، عن طريق تقليل دالة الهدف، Z^* :

$$Z^* = \sum_{i=1}^{N}(V_{Oi} - V_{Ci})^2 \qquad (١٣,٦٥)$$

باستخدام تقنية هوك وجيفز (Hooke and Jeeves) في نمط البحث. وتعد V_{Oi} حجم متسرب مشاهد، يعتمد على المعادلة رقم (١٣,١٦) مع معدلات تدفق داخل وتدفق خارج مقاسة وتكون V_Y معطاة عن طريق أعماق المياه السطحية المقاسة المتكاملة رقمياً. ويتم حساب V_{Ci} من القيم الحالية لمعاملات التسرب ومنحنى التقدم المقاس. وتعد N عدد المرات التي يفصل بينها زيادات متساوية، والتي يتم بها عمل المقارنات في مدة الدراسة، والتي تنتهي طبيعياً، عندما يبدأ الانحسار عند نهاية منبع (أمام) السريان. وفي التطبيق العملي، يتم التوفيق بين التقدم المقاس ودوال الحجم المتسرب في الزمن وبين التعبيرات الرياضية بالارتداد. وقد تم اختبار عدد من الصيغ الدالية المختلفة للتسرب والتقدم. وفي عام ١٩٩٧م تم توسعة الطريقة لتشمل الخطوط(Esfandiari and Maheshwari, 1997). وقد تم البحث عن معاملات كوستيكوف المعدلة للخطوط K، و a، و B، التي تنتج ناتج التسرب مباشرة (انظر الجزء رقم (١٣,٣,٣))، ولهذا لم يكن هناك اعتبار واضح للمحيط المبلل في التسرب.

وقام مونسيرات (Monserrat, (1994 باستنباط اتزان الحجم بالنسبة لمرحلة التقدم الذي يستخدم القيم النظرية بدلاً من القيم المقاسة لمتوسط أعماق المياه السطحية. وقد قام باختزال دالة موضوعية، بناءً على الاتزان بين التدفق، والسطح،

والأحجام المتسربة أو الشرائح المائلة التي يتم حسابها بالبيانات المقاسة، ومعامل منتق المفترض n ، و k ، و a غير المعروفة. وقد تم أيضاً اشتمال شروط ما بعد الري في الدالة الموضوعية. ويسمح الإجراء المثالي بالحل بالنسبة إلى k ، و a ، المقابلة للتقنية العكسية لكليمنس (Clemmens, 1991)، وكذلك $\tilde{A}_Y$ ، ومن ناحية أخرى تعمل قاعدة بيانات مونسيرات للحلول على تقييد التحليلات بالشروط - التعويضية كما هي- من حالات المحاكاة التي سبق القيام بها.

وتم تصميم تقنيات أخرى لاستخراج معاملات التسرب عن طريق استقلال واحدة أو غيرها من التكامل في المعادلة رقم (١٣,٢٣). وأشهر هذه التقنيات المعروفة هي معادلة لويس وميلن.

(١٣,٧,٢) معادلة لويس وميلن التكاملية

كما هو ملاحظ في الجزء (١٣,٥,٢) تم في معادلة لويس وميلن Lewis and Milne (1938) إحلال تكامل الزمن مكان تكامل التصرف في المعادلة رقم (١٣,٢٣) من خلال تغيير شكلي في المتغير، مما يؤدي إلي المعادلة رقم (١٣,٢٧). وتقوم أحد التطبيقات الشهيرة بدمج الافتراض المبسط للشكل الدالي لمنحنى التقدم. وسوف يتم وصف هذه التطبيقات في الجزء (١٣,٧,٢,١). وهناك تقنية خالية من الافتراضات العشوائية على دالة التقدم وهي إجراء تقدم المحطة الخطي الذي وصفه كليمنس Clemmens (1982)، الذي اقترح تقييماً مباشراً لقيمة V_Z النظرية عند مستويات زمنية متتالية t_i بدلالة الزيادات j في طول المقطع الكلي عند هذا الزمن، أي أن:

$$V_Z(t_i) = \sum_{j=1}^{N} \Delta V_{Zj}(t_i) \quad (١٣,٦٦)$$

مع حساب زيادات الحجم عن طريق افتراض معدل ثابت (مختلف) للتقدم عبر كل زيادة Δx_A. ويمكن أخذ معدل التدفق في المعادلة رقم (١٣,٢٧) خارج التكامل والتعبير عنها كخارج قسمة الاختلافات، وبهذا يكون:

$$\Delta V_{Zj}(t_i) = \frac{\Delta x_j}{\Delta t_{Aj}} \int_{t_{Aj-1}}^{t_{Aj}} A_Z(t_i - t_A)\, dt_A \qquad (١٣,٦٧)$$

والـتي فيهـا $\Delta t_{Aj} = t_A(x_j) - t_A(x_{j-1})$. والآن ومـع أي صـيغة داليـة معطـاة لـ$z(\tau)$ ، فإن التكامل في المعادلة رقـم (١٣,٦٧) يمكـن تقييمـه لكـل $j = 1,\dots, N$ ويـتم تجميع النتائج بالنسبة إلى $V_Z(t_i)$ بدلالة معاملات دالة التسرب. فعلى سبيل المثال، مع معادلة كوستيكوف المعدلة فـي المعادلـة رقـم (١٣,١١)، فـإن المعادلـة (١٣,٦٧) تظهـر كما يلي:

$$\Delta V_{Zj}(t_i) = \frac{\Delta x_j}{\Delta t_{Aj}}\left[k\left(\frac{\{t_i - t_{Aj-1}\}^{a+1} - \{t_i - t_{Aj}\}^{a+1}}{a+1}\right) + b\left(\frac{\{t_i - t_{Aj-1}\}^2 - \{t_i - t_{Aj}\}^2}{2}\right) \right] + c\Delta x_j \qquad (١٣,٦٨)$$

كما يمكن اتباعها في الشكل رقم (١٣,٣). ويكون الحد الأول مـن المعادلـة رقـم (١٣,٦٨) مساوياً للنتيجة التي عرضها كلينمس Clemmens (1982).

ومـع الدالـة الفرعيـة (المعادلـة رقـم ١٣,١٤)، فـإذا كانـت $t - t_A < \tau_B$ ، فـإن الحـدين الأول والثالـث مـن المعادلـة رقـم (١٣,٦٨) يكونـان مناسـبين. وفي حالـة $t - t_A > \tau_B$:

$$\Delta V_{Zj} = b\frac{\Delta x_j}{\Delta t_{Aj}}\left(\frac{\{t - t_{Aj-1}\}^2 - \{t - t_{Aj}\}^2}{2}\right) + c_B \Delta x_j \qquad (١٣,٦٩)$$

إن صـيغة المعـادلتين رقـم (١٣,٦٨) ورقـم (١٣,٦٩) تـسمحان بـالاختلاف الموضـعي (المكـاني) في معـاملات التـسرب، ولكـن، في المعتـاد، سـوف يـتم اسـتخدام

المعـادلتين لتقـدير قـيم الـشريحة بأكملـها. ومـع وجـود المعـاملين k ، و a في القـانون الأسـي، فإنـه يكـون مـن المطلـوب علـى الأقـل مـستويان زمنيـان للحـل. وبالنـسبة للمعاملات الأربعة المذكورة في معادلة كوستيكوف المعدلة من المعادلة رقم (١٣،٦٨)، فإنه يترتب على ذلك أن أربع معادلات آنية من نوع المعادلة رقـم (١٣،٦٧)، ستكون مطلوبة كحد أدنى في كل من المستويات الزمنية الأربعة. وعادة يتم استخدام عـدد أكبر من المعادلات للسعي لتوافق أفضل.

وعنـد التبسيط الحسابي، يخمـن كليمـنس Clemmens (1982) قيمـة a ، مثلا تساوي ٠،٥ ، بما يسمح بالحل المباشر، فضلاً عن الحل الفوري لقيمة k عند كـل مـن t_i حتى t ، مع نفس أزمنة الفرصة المتوسطة التي تؤدي إلى نقطة على المنحنى البياني. ويقـدم ميل الـخط، علـى ورقـة رسـم بيـاني لوغـاريتمي، تخميناً أفـضل لـ a ، ويـتم تكـرار العمليـة إلى أن تتقـارب قـيم a (مـع العلـم أن مـن الطبيعـي وجـود محـاولتين ضروريتين).

ومع إيجاد معاملات التسرب، فإن المعـادلتين رقـم (١٣،٦٨)، ورقـم (١٣،٦٩) تقدمان التغييرات في التخزين تحت السطحي في كل جزء عند كل خطوة زمنية، في حين أن المنحنيات المائية للأعماق عند المحطات تنتج تغييرات في التخزين السطحي. ويـؤدي اتزان الحجم بين المحطات والخطوات الزمنية إلى التـصريف عنـد كـل محطة، في حـين أن المقاطع المستنتجة من ارتفاعات سطح المياه تنتج ميل سطح المياه. وبالتـالي فمـن الممكـن حساب معامل ما ينتج عند كل محطة توجد عنـد كـل مـستوى زمـني. ومـع إيجاد القـيم المتوسـطة عنـد محطـة مـا عـبر الـزمن، فـإن متوسـط المـسافة، كمـا ورد في كليمـنس Clemmens (1982)، يؤدى إلى قيمة ممثلة لقطاع الشريحة.

إذا تم إيجاد نقاط التقدم التي تؤدي إلى المعادلة رقم (١٣،٦٨) عند زيـادات ثابتـة من الزمن (إما مقاسة أو مستكملة قياسياً) كمـا في الـشكل رقـم (١٣،٣)، فـإن المعادلـة رقم (١٣،٦٨)، مع القانون الأسي لكوستيكوف، $z = k\tau^a$ ، تـؤدي إلى تقييم رقمـي لقيمة r_z من خلال التجميع:

$$r_{Zi} = \frac{V_{Zi}}{kt_i^a x_{Ai}} = \sum_{j=1}^{N} \frac{\Delta x_j}{x_{Ai}} \left(\frac{\{i-j+1\}^{a+1} - \{i-j\}^{a+1}}{i^a (a+1)} \right) \quad (١٣,٧٠)$$

والتي فيها r_z نسبة متوسط عمق التسرب إلى عمق منبع السريان وتم استخدام العلاقات $t_{Aj} = j\Delta t$ ، $t_i = i\Delta t$ ، و $t_{Aj} - t_{Aj-1} = \Delta t$ ... إلخ في استنتاج المعادلة رقم (١٣,٧٠).

(١٣,٧,٢,١) القانون الأسي للتقدم المائي

إن تبسيطاً كبيراً في تقييم تكامل لويس وميلن في المعادلة رقم (١٣,٢٧) يتبع افتراض الصيغة الدالية للتقدم والتسرب أيضاً، كما تم مناقشته في الجزء (١٣,٥,٦) في حالة القانون الأسي للتقدم المائي. وفي الحقيقة هناك طرق لحساب التسرب تقوم باستخدام نفس المفاهيم التي تم استخدامها لحساب التقدم (الأجزاء من (١٣,٥,٢) إلى (١٣,٥,٦)).

طريقة النقطتين (Elliot and Walker, 1982) في اختلاف معروف عن منهج كريستيانسن وآخرين (1966) Christiansen *et al.* ، يتم قياس زمن التقدم مرتين فقط، عند منتصف الطريق إلى نهاية الحقل وعند نهاية الحقل. وتفترض الطريقة وجود تقدم يتبع القانون الأسي، فضلاً عن أن $\tilde{A}_Y$ تقوم على الدرجة التي وفقها تتبع V_Z القانون الأسي، مما يؤدي إلى تقدير مستقل لقيمة $\tilde{A}_Y$ التي تقوم على العمق الطبيعي المفترض بالنسبة لقطاع عرضي، وميل قاع، معامل مانئق n ، ومعدل التدفق ما ومعامل شكل ثابت مفترض r_Y ، كما يلي:

$$\tilde{A}_Y = r_Y A_{Y0} \quad (١٣,٧١)$$

وبهذا تكون V_Y في المعادلة رقم (١٣,١٨) معلومة عند كل قيمة من x_A. وتشترك طريقة النقطتين مع الطرق المماثلة في أي أوجه عدم دقة تنشأ من تقدير متوسط مساحة المقطع من المجرى السطحي (Strelkoof *et al.*, 2003b). وهي تشترك أيضاً في

خرق قانون حفظ الكتلة النابع من افتراض القوانين الأسية لكل من التقدم والتسرب سوياً مع مساحة تدفق مقطعية متوسطة ثابتة أثناء التقدم. لاحظ أن واحداً أو كلا قياسيى التقدم اللذين من المحتمل خطؤهما يمكن التخفيف من أثرهما عن طريق رسم خط بياني لأفضل توافق لمنحنى التقدم على ورقة رسم لوغاريتمي وتحديد النقطتين من هذا الخط. ومن السهل أن تتسع طريقة النقطتين لوضع قيم b غير الصفرية في المعادلة رقم (١٣,١١)، بمجرد أن يتم تحديدها بشكل مستقل. لاحظ، مع هذا، أن التوضيح يتعلق بالمعادلة رقم (١٣,١٣). ونتائج الطريقة، بالنسبة لنقطتين عند الطول الكامل L، ونصف الطول $L/2$، هي ثوابت كوستيكوف k، و a، كما يلي:

$$h=\frac{\log 2}{\log\left(\frac{t_L}{t_{L/2}}\right)} \qquad f=\frac{L}{t_L{}^{h}} \tag{١٣,٧٢}$$

$$a+h=\frac{\log\left(\frac{V_{ZL}}{V_{ZL/2}}\right)}{\log\left(\frac{t_L}{t_{L/2}}\right)} \qquad g=\frac{V_{ZL}}{t_L{}^{a+h}} \tag{١٣,٧٣}$$

$$k=\frac{g}{f\, r_Z(a,h)} \tag{١٣,٧٤}$$

وتنتج المعادلات المتجانسة K إذا كانت مطلوبة للحساب العملي المباشر للحجم المتصرف لكل وحدة طول.

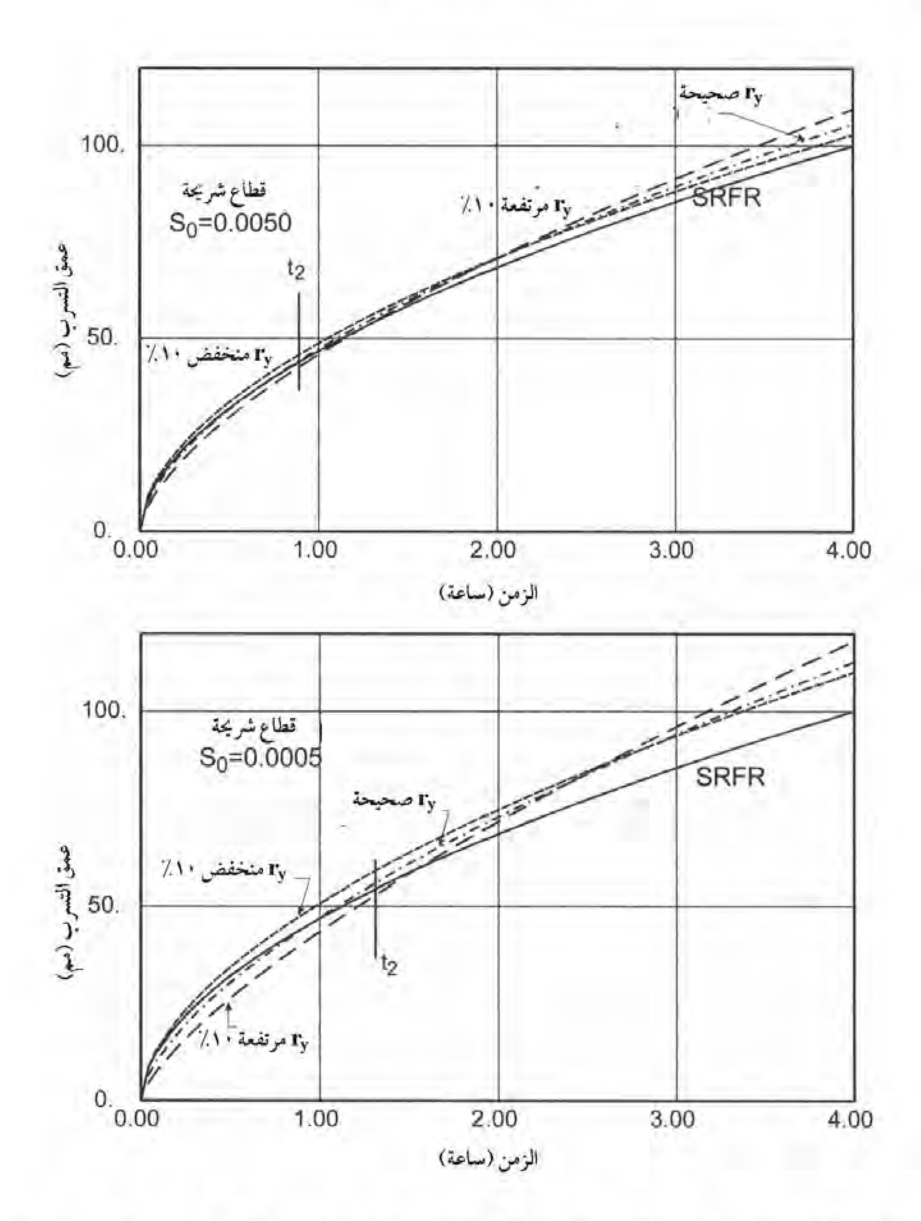
ويوضح الشكل رقم (١٣,٢٠ أ،ب) تأثير التقدير غير الصحيح للمقطع العرضي من المجرى السطحي في حالة وجود ميلي قاع مختلفين، (أ) $S_0 = 0.0005$، و(ب) $S_0 = 0.005$. وقد تم تطبيق طريقة النقطتين على عملية ري محاكى بالشريحة.

ويتم تسمية مدخل دالة التسرب في المحاكاة (تابعة لعائلة معايرة زمنياً تتطلب ٤ ساعات لتسرب ١٠٠ مم) تبعاً لتصنيف SRFR، وعند هذا تنتج المحاكاة كلا من منحنى التقدم ($t_2 = t_L$ الموضحة) و r_Y التي تختلف ببطء مع الزمن. وقد تم اختيار قيمة تمثيلية لـ r_Y للاستخدام في طريقة النقطتين، ويتم تمييز دالة التسرب الناتجة باسم" r_Y الصحيحة". بعد هذا يتم تغيير القيم التمثيلية بما يساوي ±١٠٪ مع النتائج الموضحة. وكما يمكن التوقع، فمع الحجم السطحي عند الميل الصغير الذي يساهم بجزء أكبر من التدفق الكلي عن مشاركته عند وجوده على ميول أكبر، فإن الخطأ في r_Y يؤدي إلى أخطاء أكبر في التسرب المقدر في حالة الميل الصغير أكثر منه في حالة الميل الكبير. وفي كلتا الحالتين فإن الانحرافات عن التسرب الصحيح تزداد بشكل كبير للأزمنة المستكملة قياسياً بعد t_2 (Strelkoof *et al.*, 2003b).

وفي حالة وجود حقل مستو، فإن العمق الطبيعي ليس له معنى، ولكن تم اقتراح توسعة لهذه الطريقة في هذه الحالة (Zerihun *et al.*, 2004). فبدلاً من افتراض أن A_{Y0} ثابتة في المعادلة رقم (١٣,٧١)، فإنه يتم السماح لها بالزيادة مع x_A بالتوافق مع المعادلة رقم (١٣,٤) والمعادلة رقم (١٣,٦) والتقريب $S_f = y_0 / x_A$. ثم في حالة شكل مقطعي معطى للخط في التربة، تكون A_{Y0} متضمنة في العلاقة:

$$A_{Y0}{}^2 R_0{}^{4/3} y_0 = x_A Q_0{}^2 n^2 \tag{١٣,٧٥}$$

وبمعرفة الجانب الأيمن من المعادلة عند كل من مسافات التقدم (المختارة في Zerhun *et al.*, 2004، على أنها $L/3$ ، و $2L/3$). ثم تنتج $\tilde{A}_Y$ من المعادلة رقم (١٣,٧١). ولتوسعة الطريقة لتشمل قيم B غير الصفرية فإنها تتطلب قياسات العمق حيث تنخفض ارتفاعات سطح المياه في البرك المتكونة على السطح بعد قطع التدفق. وسوف تُعطى قيمة B عن طريق المعدل المقاس للانخفاض وبافتراض أنه عند هذه النقطة فإن معدل التسرب عبر الزمن لا يختلف باختلاف الموقع في الحوض.



الشكل رقم (١٣,٢٠). تأثير التنبؤ بالأخطاء على التسرب في معامل الشكل المفترض r_Y في حالة مقطع المياه السطحية. طريقة النقطتين: t_2 : زمن التقدم، SRFR: $z(\tau)$ في المحاكاة. (أ) $S_0 = 0.0005$، و(ب) $S_0 = 0.005$.

وقام ألفيرز (Alvarez, 2003) باستخدام افتراضات طريقة النقطتين للتنبؤ بالتقدم وتسرب كوستيكوف K في حالة تصرف الخطوط غير تلك التي تم عندها إجراء اختبار الحقل، لتعليل وجود محيط مبلل مختلف. ويستند هذا الأسلوب على افتراض آخر، مدعوماً بالمشاهدات الحقلية، أنه مع معدلات التدفق المختلفة، فإن الأس في القانون الأسي بالنسبة للتقدم يختلف بدرجة بسيطة جداً.

طرق النقطة الواحـــدة: تتطلب طرق النقطة الواحدة قياس زمن التقدم عند نقطة واحدة، وبشكل نموذجي عند نهاية الحقل. ومن المفترض أيضاً في هذه الطريقة، كما هو الحال عادة، أن تكون قناة التدفق منحدرة بدرجة كافية لتحقيق العمق الطبيعي عند نهاية منبع (أمام) السريان بانتهاء التقدم، وأن تكون r_Y معلومة. ويسمح هذا بحل معادلة لويس وميلن (1938) Lewis and Milne التكاملية. وفي حين أنه بشكل عام يكون مطلوباً نقطتا تقدم مقاستين لإنتاج القيمتين المستقلتين لمعاملي كوستيكوف، فإن الافتراضات الإضافية يمكن أن تنتج معاملات وثيقة الصلة مع نقطة تقدم واحدة فقط. وفي طريقة النقطة الواحدة الأصلية (Shepard *et al.,* 1993)، فإن الافتراض المنطقي لدالة فيليب للتسرب، $z = S\tau^{1/2} + A\tau$ (Philip, 1969)، ودالة التقدم شديدة التقييد، $z = f \cdot t^{1/2}$، يؤديان إلى ثابتين، S و A، من قياس زمن الوصول إلى نهاية الخط. وبدلاً من هذا، فإن الافتراضات المتزامنة من هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية (1984) NRCS (SCS) عائلات التسرب والتقدم التابع للقانون الأسي، $x = f \cdot t^h$، مع العلم أن h و f ثوابت خاصة بالموقع، تؤدي تقريباً إلى عائلة مترابطة بشكل وثيق، بمجرد أن يُعطى الزمن اللازم للمجرى المائي للوصول إلى نقطة معينة (Valiantzas *et al.,* 2001). وبالإمكان جعل هذا ممكناً عن طريق حقيقة أنه يتم تحديد كل عائلة تقييمية معينة من k وقيمة معينة من a، وبالتالي فإن k تعد دالة في a (المعادلة رقم ١٣,١٥). وفي طريقة بديلة، لأن بعض أنواع التربة غير المتشققة تتلاءم بشكل أفضل عن طريق العائلات المعايرة زمنياً لميريام وكلينمس (1985) Merriam and Clemmens، وكذلك أدى تطوير مماثل

(انظر Strelkoff *et al.,* 2003b) إلى ثوابت كوستيكوف k و a من نقطة التقدم المفردة. وعند هذه النقطة للاتصال، فإن العلاقة العملية بين k و a (المعادلة رقم ١٣,١٧) تعتمد على المساحة الفعلية المبللة، وبالتالي ففي الخطوط يجب أن تقوم k على محيط البلل بدلاً من أن تقوم على المسافة بين الخطوط. وهناك أيضاً مناقشة لآثار الأخطاء في تقدير الحجم السطحي.

(١٣,٧,٣) التحويل المباشر لمعادلات التدفق الهيدروديناميكية

تمكن كليمنس (1991) Clemmens من تحويل معادلة التدفق غير المستقر الهيدروديناميكية التي تحكم تدفق الماء إلى مدى معامل الحقل غير المعروف. وفي وجود زيادات مقاسة في الزمن والمسافة معطاة في اللوغاريتم مزدوج المدى لحل المعادلات الخطية للمخطط البياني لنيوتن-رافسون، فإن عمود المعاملات الذي يظهر من تدرجات العمق والتصرف بالنسبة إلى الزمن (انظر الجزء (١٣,٦,٩)) يتم استبداله بالتدرجات بالنسبة إلى أحد معاملات الحقل (Clemmens, 1991). ثم ينتج معامل الحقل هذا في الحل عند كل خطوة زمنية.

وتتطلب الطريقة تحديداً مسبقاً لكل معاملات الحقل المتبقية، عادة، ثابت كوستيكوف a ومعامل مانتق n. وعند كل خطوة زمنية، يتم استخدام k الناتجة لحساب زمن الفرصة للعمق المتوسط المحسوب للتسرب. ثم يتم استخدام الشكل البياني الناتج لتوافق دالة كوستيكوف الجديدة، بما يسمح بإعادة الحساب باستخدام قيم a الأكثر حداثة. ويقدم البحث الأصلي وفرة من المقارنات التفصيلية للنتائج من توليفات مختلفة من الافتراضات في الطريقة.

(١٣,٧,٤) المعامل الأمثل من خلال تكرار المحاكاة

عندما تكون معاملات الحقل الغير معروفة جزءًا لا يتجزأ في المعادلات ذات الصلة بحيث لا يمكن تحوير الأخيرة لإنتاج هذه المعاملات، فإنه يمكن البحث عنها في برنامج من التقريب المتعاقب. ويتضمن هذا عادة عمليات محاكاة متكررة، مع القيم المتغيرة للمعاملات، في إجراء بحث شكلي يعرف بالوصول إلى أقصى فاعلية، والذي

يهدف إلى تقليل التفاوت بين القيم المقاسة والقيم التي تمت محاكاتها للكميات المختارة، مثل التقدم، وأعماق المياه، والمنحنيات المائية للجريان السطحي، ... إلخ.

ويمكن إيجاد اهتمامات ومناهج عامة لضمان الوصول لأقصى فاعلية في بريس وآخرين Press *et al.* (2001)، حيث يتم شرح المفاهيم في المناقشة التالية مع معلومات خلفية وتفصيلية أكثر. وعلى وجه الخصوص، فقد قاموا أولاً بمناقشة المشكلات التي يتم مواجهتها والتقنيات المتاحة في البحث أحادي البعد عن أدنى قيم. ويمكن بوجه عام إيجاد القيمة الحقيقة الشاملة أو الأقل للدالة الموضوعية العامة $F(x)$ لأحد العوامل المستقلة x ، بالتأكيد داخل مدى مسموح به مسبق التحديد للمتغير المستقل، عن طريق القوة العنيفة، أي، حساب F عبر زيادات صغيرة بدرجة كافية، δx ، بحيث لن يتم فقد انخفاض أقل من كل الباقي. والمشكلة الأساسية في عملية الوصول لأقصى فاعلية أحادية البعد عملياً تكمن في إعداد تقنية سوف تؤدي إلى التقليل الشامل من خلال عدد معقول من الحسابات. وخلال عملية الوصول للفاعلية متعددة الأبعاد، حيث يكون هناك عدد من العوامل المستقلة، التي توصف، مثلاً بالمتجه p، فإن المشكلة الإضافية التي يمكن مواجهتها تكمن في اختيار الاتجاهات التي فيها تتغير p من التقدير الحالي، وكذلك في مقدار تغيرها، للوصول إلى تقليل شامل، وكل هذا داخل المدى المسموح به من p. وبوجه عام، يعد لوغاريتم أقصى فاعلية جيدة صعب الوصول له، أي، أنه سوف يقترب بشكل حتمي من التقليل الشامل، مروراً بأدنى قيم محلية، وبغض النظر عن التخمينات الأولية للمعاملات المستقلة أو طبيعة الدالة الموضوعية. وسوف يكون من الاقتصادي القيام بالحساب ولن يتطلب تخزيناً مفرطاً في برامج الحاسب.

في الطرق التدريجية، يستمر البحث في سلسلة من الخطوات أحادية البعد، مع اختيار الاتجاه في كل خطوة استجابة إلى التدرج في F (التي يتم حسابها، على سبيل المثال، عن طريق المحاكاة في p المتجاورة). وفي خطوة من التكرارات من i إلى $i+1$:

$$p^{(i+1)} = p^{(i)} - d = p^{i} - \alpha^{(i)} R^{(i)} g^{(i)} \qquad (١٣,٧٦)$$

والتغير في p يتم في اتجاه المتجه d ، الذي يعطى بالمصفوفة R عن طريق التعدد المسبق للتدرج g ، وبطول معطى بالمقياس $\alpha R = 1$ ، مصفوفة الهوية ، التي تناظر طريقة أقصى الحدار ، ولكن هذه يمكن أن تكون غير فعالة (Press *et al.,* 2001) ، وهناك اختيارات أخرى ، تحوّل اتجاه التصحيح بعيداً عن التدرج ، أثبتت أنها أكثر مناسبة في البحث عن القاع للوادي الضيق الطويل الذي يكون له أقل قيم محلية غير منطقية تمثل الدالة الموضوعية (كما يمكن رؤيته عن طريق مكونين حرين من p). هناك اختيار منطقي لـ R في البحث عن أقل قيم السطح F وهو مقلوب H من مصفوفة هيسيان بالنسبة إلى F :

$$H = \left(\frac{\partial^2 F}{\partial p_i \partial p_j} \right)^{-1} \qquad (١٣,٧٧)$$

حيث إن هذا يعد توضيحاً للمعدل المحلي الذي يقترب عنده التدرج من الصفر ، أي ، حيث تكون F عند أدناها. وما هو متوقع أن ، ما عدا النقاط التي توجد على حدود الحقل المسموح به للمتغيرات المستقلة ، فإن أدنى دالة موضوعية تناظر صفراً تدرج هناك. ويعد الحساب المباشر لقيمة H مناسباً ، جزئياً بسبب الصعوبة في حساب الاشتقاق الثاني وجزئياً بسبب الحاجة إلى التحول لعكس مصفوفة كبيرة بشكل محتمل. وقد تم اقتراح عدد من البدائل العددية ، كما هو ملحوظ في الأجزاء اللاحقة.

(١٣,٧,٤,١) الأمثلية للتوافق مع التقدم

إن مسألة مقدار المعلومات حول معاملات الحقل التي يمكن استنتاجها من قياسات التقدم وحده (مشاهدة التقدم) تم اختبارها نظرياً ، في سياق النموذج الخطي مع القصور الذاتي الصفري ، من قبل كاتوبودز KAtopodes (1990) وقد خلص إلى أن المقاومة والتسرب لهما آثار لا يمكن تمييزها على معدل التقدم ، ولكن إذا كانت إحداهما معطاة ، يمكن إيجاد الأخرى. ومع وجود معاملات الحقل التي تتحكم في التقدم ، مثلاً ، ثوابت كوستيكوف k و a ، وثابت مانتق n ، إذا كان أي اثنين منهما

معروفين، يمكن استنتاج الثالث بشكل لا لبس فيه إذا كانت بعض الأعماق السطحية المقاسة متاحة للمقارنة. ويمكن أن يكون الوصول لأقصى فاعلية صعباً: ففي حالة وجود دالة موضوعية قائمة على الثابتين a و n المتغيرين، فإن أدنى قيم محلية متعددة يمكن مشاهدتها في الوادي الضيق جداً، والتي يكون كل منها أكبر من أدنى قيمة شاملة. ويمكن تقدير كل المعاملات الثلاثة مع قياسات مقطع العمق المنفرد (Yost and Katapodes, 1998).

وهناك أيضاً سلسلة من الطرق، تكوّن مشكلة عمل مقلوب التقدم، تتكون من حالات المحاكاة المتكررة مع النموذج الرياضي الذي يتم التحكم به عن طريق واحد أو أكثر من إجراءات البحث. وقام واكر وبوسمان Walker and Busman (1990)، لتقييم زمن التسرب الحقيقي، أي، أثناء تقدم عملية الري، بتقليل دالة موضوعية، Y، بناءً على التقدم المحسوب:

$$Y = \sum_{j=1}^{m} \sqrt{\left(T_{A\,j} - t_{A\,j}\right)^2} \qquad (١٣,٧٨)$$

والتي فيها $T_{A\,j}$ قياسات زمن التقدم إلى مواقع محددة x_j، في حين أن $t_{A\,j}$ أزمنة المحاكاة مع قيم محددة لمعاملات التسرب في التقدير الحالي. ومن المفترض أن يكون معامل الخشونة معروفاً. وعدد نقاط المقارنة، m، يزداد بتقدم عملية الري، مما يوفر بيانات أكثر بكثير حول ما يمكن أن تقوم عليه معاملات التسرب. وعند أي خطوة من الري m، يتم تقليل الدالة الموضوعية (يتم الوصول إلى أقصى فاعلية لمعاملات التسرب) في تقريبات متعاقبة من خلال طريقة المنحدر المبسطة، ولكن للدالة الموضوعية نفسها فقط، عند تقديرات N+1 من معاملات التسرب N عند كل خطوة من العملية التكرارية، أي:

$$Y_i = \sum_{j=1}^{m} \sqrt{\left(T_{A\,j} - t_{Ai\,j}\right)^2} \qquad i = 1, \ldots, N+1 \qquad (١٣,٧٩)$$

ومع وجود معاملي للتسرب k و a $(N = 2)$ ، فإن هناك ثلاث قمم للتبسيط، بوجه عام للشكل المتعدد السطوح مع تبسيطات $N + 1$ في فراغ المعامل البعدي N ، الذي يختزل، في حالة معاملات كوستيكوف، إلى مثلث. ومع وجود الثلاثة، عند البحث عن أفضل قيم لكل من k و a و b ، فإن التبسيط يكون شكلاً رباعي الوجوه في الفراغ ثلاثي الأبعاد. وتتميز كل قمة بمجموعة من القيم لمعاملات N المطلوبة. وتتكون طريقة التبسيط من خلال إستراتيجية (Press *et al.*, 2001) لتغيير المواقع من التبسيطات التي تتم بأسلوب مخطط لجلب نقطة أقصى فاعلية إلى داخل الشكل متعدد السطوح صغير جداً.

ووجد أزيفيدو Azevedo, (1992) أن طريقة بول المعدلة متعددة الأبعاد لحساب الاتجاهات المتعاقبة لمتجه الحل تعمل على تغيير التقارن إلى التقليل أحادي الأبعاد لبرنت عند تغيير كل اتجاه، سوياً مع أدنى تطويق (كل هذا في Press *et al.*, 2001) أسرع بكثير وأكثر ثقة من طريقة تبسيط المنحدر. وقد وجد أيضاً أن القيم الدنيا الأصغر للدالة الموضوعية سادت عندما تم البحث عن معاملات كوستيكوف-لويس الثلاثة k و a و b ، في حسابات الحقل البحثية لقيمة b ، على سبيل المثال، كانت غالباً بخطأ كبير. ويمكن ملاحظة أن هذه الحلول لم يثبت تميزها، عند وجود قيم متغير أقصى مختلف ناتج من قيم البدء المختلفة. وفي نفس الوقت فإن التقدم المحسوب باستخدام مجموعات مختلفة لم يختلف كثيراً.

واستخدم بايتيستا وولِندر Bautista and Wallender, (1993) طريقة ماركواردت (Press *et al.*, 2001)، وهي تقنية قياسية لملاءمة منحنى المربعات الصغرى غير الخطي، لتقليل الدالة الموضوعية:

$$F(p) = \sum_{j=1}^{m} \left(\frac{T_{Aj} - t_A(p)_j}{\sigma_j} \right) \quad (١٣,٨٠)$$

والتي فيها m عدد محطات المقارنة، و T_{Aj} التقدم المقاس لمحطة ما x_j، في حين أن t_{Aj} أزمنة المحاكاة، مع وجود متجه معامل الحقل p الذي له مكونات، k و a و b، و σ معامل وزن، غالباً توضع قيمته بما يساوي الوحدة، لحساب عدم التأكد في القياس. ولقد تم افتراض أن الخشونة تكون معروفة، وفي النهاية، تكون b كذلك (معدل التسرب المقاس في الحالة الثابتة للحقل)، حيث إن لوغاريتم ماركوادرت قد أظهر صعوبة في التحول لأقصى قيم فاعلية للمعاملات الثلاثة. وهناك دالة موضوعية بديلة مبسطة بدلالة سرعة التقدم، أثبتت أنها أكثر نفع في تحديد التسرب المختلف من مكان لآخر، ولكن في النهاية، كانت هذه النتائج غير حاسمة.

ووفرت كل هذه الطرق معلومات تسرب أكثر ثقة إذا تم استخدام بيانات التقدم من الري بأكمله، فضلاً عن أي جزء من منحنى التقدم، مثلاً، عند محاولة تمييز معاملات التسرب بتقدم الري.

(١٣,٧,٤,٢) الأمثلية للتطابق مع المنحنيات المائية للتدفق الخارج

إن معاملات التسرب المناسبة لكامل مدة عملية الري تنتج جرياناً سطحياً محاكي يتفق مع القيم المقاسة. وطبقاً لهذا قام لي (1978) Ley، بدمج توافق من أحجام الجريان السطحي الكلية في امتداد لتوافق كريستيانسن وآخرين (1966) Christiansen *et al.* لمنحنيات التقدم.

وطور واكر (2005) Walker إجراءً منظماً لاختيار قيم ملائمة لكل من K، و a، و B، وثابت مانئق n في محاكاة سوف تتوافق مع المنحنيات المائية المقاسة للتدفق الخرج، عند إعطاء قيم التدفق الداخل، والمقاطع العرضية للخطوط، وميل القاع المقاسة. ويختلف الإجراء البحثي عن عملية الوصول الكلاسيكية لأقصى فاعلية لمعاملات عديدة بشكل فوري في أن المعاملات يتم البحث عنها بصورة متتابعة، وإن تكن تبادلية. إن مفهوم التحديد المتتابع للمعاملات يقوم على المشاهدة العامة في مدى واسع من حالات المحاكاة التي تؤثر فيها المعاملات الأربعة التي يتم البحث عنها على النتائج بطرق مختلفة. وعلى وجه التحديد، تظهر قيمة K الأكثر تأثيراً في تحديد زمن

التقدم (الزمن الذي يبدأ عنده حدوث تدفق خارج)، و a العامل الأكثر أهمية في التأثير على شكل المنحنى المائي للتدفق الخارج، و B الأكثر أهمية في تحديد القيم المطلقة لمعدل الجريان السطحي. وقد لوحظ أن معامل الخشونة لماننق n الأكثر تأثيرا في تحديد نهايات زمن الانحسار (زمن انتهاء التدفق الخارج). إن ضرورة التكرار تنبع من عدم دقة هذه المشاهدات والآثار التفاعلية لقيم المتغير.

وفي حالات محاكاة متعددة تكوّن الطريقة، فإن هندسة الخط المقاسة والمنحنى المائي للتدفق الداخل تزداد بتقريبات متعاقبة للمعاملات الأربعة. وبدء التخمينات للمعامل B يتبع المعادلة رقم (١٣,١٣)، وطريقة النقطتين (المعادلات رقم (١٣,٧٢) ورقم (١٣,٧٤)) للمعاملين K، و a، والقيم التي وردت في النشرات البحثية حول n. وبالترتيب على العمليات المتداخلة للوصول لأقصى فاعلية، فإن K يتم تعديلها في التداخل الأعمق لعمليات المحاكاة لجعل أزمنة التقدم المحسوبة والمقاسة متساوية. والأسلوب القاطع يوفر التقريبات المتتابعة حيث تتناسب التغيرات في t_L تقريباً مع التغيرات في K. وفي التداخل التالي الخارجي، فإن بحث فيبوناتشي Fibonacci (Kahaner *et al.,* 1989) عن B يعمل على تقليل rms_{RO}، متوسط الجذر التربيعي للاختلافات بين معدلات الجريان السطحي المحسوب والمقاس:

$$rms_{RO} = \sqrt{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{RO_{jM}} - Q_{RO_{jS}}\Big|_{\hat{K},\hat{a},\hat{B},\hat{n}}\right)^2} \qquad (١٣,٨١)$$

حيث m عدد النقاط في المنحنى المائي، والرمز السفلي M يشير إلى القيم المقاسة، و S تشير إلى قيم المحاكاة، والطاقية الموضوعة فوق المتغير، مثل، $\hat{K}$ تشير إلى القيمة الحالية التي تتوافق مع البحث. وعند كل قيمة من B توجد في العملية، فإن التداخل الداخل للأبحاث يعمل على تعديل K لتتوافق مع زمن التقدم. والحلقة التالية من البحث تكون عن قيمة a، التي تعمل أيضاً على تقليل متوسط الجذر التربيعي لقيم الجريان السطحي المحسوبة والمقاسة. وعند كل قيمة من a، يتم إعادة حساب

$\hat{B}$ ، و $\hat{K}$. والتداخل الخارجي الأخير يقوم بتحديد $\hat{n}$ لتتوافق مع أزمنة الانحسار المحسوبة والمقاسة. وهناك ميزة رئيسية للطريقة ، وهي أن كل البيانات التي يتم جمعها أثناء عملية الري تكون محدودة بمدخل ومخرج الخط ، بدون الحاجة إلى الدخول إلى الحقل المبلل.

(١٣,٧,٤,٣) تطابق الأعماق المقاسة

عرض كاتوبوديز وآخرون Katopodes *et al.* (1990) تقنية تقدير الأعماق التي تقوم على بضعة قياسات مقاسة عند مواقع مختلفة أو أزمنة مختلفة أثناء التقدم (ليست كافية لتحديد حجم المجرى المائي ، ولكن فقط للمقارنة مع الأعماق المحسوبة). وتم تطبيق إجراءات تدريج عديدة مماثلة من قبل بلاين وجاركيا نافارو Playàn and Garcia-Navarro (1997) في بحث عن زوج المعاملات $n-k$ وأيضاً الزوج $a-k$ ، مع إبقاء المكون الثالث من متجه المعامل ثابتاً.

وهناك منهج مختلف تماماً لتقدير تسرب وخشونة الشريحة بأكملها لمرحلة التقدم قام بتطويره فالياتنزا Valiantzas, (1994) مستخدماً اتحاداً من قياسات عمليات المحاكاة النظرية (القصور الذاتي الصفري) (الجزء (١٣,٦,٧) وما يليه). وتكون المعاملات الحقلية التي يتم البحث عنها هي ثوابت كوستيكوف k و a ، ومعامل مانتق n (في الحقيقة ، ما يناظرها ، العمق العادي ، في حالة التدفق وميل القاع المعطى). وكل من مسار التقدم $x_A(t_i)=1,...,N$ ، والمنحنى المائي للعمق $y_R(t_j)\ ,\ j=1,...,M$ ، يتم قياسهما في نقطة مرجع x_R عند أو قريباً من مدخل الشريحة.

المراجع

Abramowitz, M., and 1. A. Stegun, eds. 1964. Handbook of Mathematical Functions. Appl. Math. Series 55, June. Gaithersburg, Md.: Nat. Bur. Standards.

Akanbi, A. A., and N. D. Katopodes. 1988. Model for flood propagation on initially dry land. J. Hydr. Eng. 114(7): 689-706.

Alazba, A. A. 1999. Explicit volume balance model solution. J. Irrig. Drain. Eng. 125(5): 273-279.

Alazba, A. A., and D. D. Fangmeier. 1995. Hydrograph shape and border irrigation efficiency. J. Irrig. Drain. Eng. 121(6): 452-457.

Alazba, A. A., and T. S. Strelkoff. 1994. Correct form of Hall technique for border irrigation advance. J. Irrig. Drain. Eng. 120(2): 292-307.

Alvarez, 1. A. R. 2003 Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. Agric. Water Mgmt. 60(3): 227-239.

Azevedo, C. A. v. 1992. Real-time simulation of the inverse furrow advance problem. Ph.D. diss. Logan, Utah: Utah State Univ.

Bautista, E., and W. W. Wallender. 1993. Identification of furrow intake parameters from advance times and rates. J. Irrig. Drain. Eng. 119(2): 295-311.

Bellos, C. V., J. V Soulis, and J. G. Sakkas. 1991. Computation of two-dimensional dam-break induced flows. Adv. in Water Resour. 14(1): 31-41.

Bjomeberg, D. L., T. J. Trout, R. E. Sojka, and K. K. Aase. 1999. Evaluating WEPP predicted infiltration runoff and soil erosion for furrow irrigation. Trans. ASAE 42(6): 1733-1741.

Blair, A. W., and E. T. Smerdon. 1985. Effect of wetted perimeter on infiltration i.n furrows. In Proc. Spec. Conf. Irrig. and Drain. Div., 162-169. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Blair, A. W., E. T. Smerdon, and J. Rutledge. 1984. An infiltration model for surge flow irrigation. In Proc. Spec. Conf. Irrig. and Drain. Div., 691-700. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Boas, M. L. 1966. Mathematical Methods in the Physical Sciences. New York, N.Y.: John Wiley and Sons.

Bondurant, J. 1971. Proc. of the Annual Report to Regional Research Committee W-65 on the Hydraulics of Surface Irrigation. Washington, D.C.: USDA-ARS.

Bouwer, H. 1957 Infiltration patterns for surface irrigation. Agric. Eng, 38(9): 662-664,676.

Bradford, S., and N. D. Katopodes. 1998 Nonhydrostatic model for surface irrigation J Irrig. Drain. Eng. 124(4): 200-212.

Burt, C. M., A. J. Clemmens, T. S. Strelkoff, K. H. Solomon, R. D. Bliesner, L. A. Hardy, T. A. Howell, and D. E. Eisenhauer. 1997. Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. J. Irrig. Drain. Eng. 123(6): 423-442.

Carslaw, H. S., and J. C. Jaeger. 1959. Conduction of Heat in Solids. New York, N. Y.: John Wiley & Sons.

Christiansen, 1. E., A. A. Bishop, F. W. Kiefer, Jr., and Y. S. Fok. 1966. Evaluation of intake rate constants as related to advance of water in surface irrigation. Trans. ASAE 9(5): 671-674.

Clemmens, A. J. 1981. Evaluation of infiltration measurements for border irrigation. Agric. Water Mgmt. 3: 251-267.

Clemmens, A. J. 1982. Evaluating infiltration for border irrigation models. Agric. Water Mgmt. 5: 159-170.
Clemmens, A. J. 1991. Direct solution to surface irrigation advance inverse problem. J Irrig. Drain. Eng. 117(4): 578-594.
Clemmens, A. J. 1998. Level basin design based on cutoff criteria. lrrig. Drain. Systems 12: 85-113.
Clemmens, A. J. and Dedrick, A.R. 1982. Limits for practical level basin design. J Irrig. Drain. Div., ASCE 108(IR2): 127-141.
Clemmens, A. J., and A. R. Dedrick. 1984. Multi-purpose head detection and monitoring unit. Trans. ASAE 27(6): 1825-1828.
Clemmens, A. J., A. R. Dedrick, and R. J. Strand. 1995a. BASIN: A Computer Program for the Design of Level-Basin Irrigation Systems. Version 2.0. WeL Report #19. Phoenix, Ariz.: USDA-ARS, U.S. Water Conservation Laboratory.
Clemmens, A. J., D. E. Eisenhauer, and B.L. Maheshwari. 2001a. Infiltration and roughness equations for surface irrigation: How form influences estimation. ASAE Paper No. 01-2255. S1, Joseph, Mich.: ASAE.
Clemmens, A. J., and K. H. Solomon. 1995. Procedures for combining distribution uniformity components. In Proc., First Int'l. Con! Sponsored by the Water Resources Eng. Div., 1531-1535. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
Clemmens, A. J., T. S. Strelkoff, and C. M. Burt. 1995b. Defining efficiency and uniformity: Problems and perspectives. In Proc. First lnt'l. Conf, Water Resources Eng. Div., 1521-1525. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
Clemmens, A. J., T. S. Strelkoff, and E. Playan. 2003. Field verification of two-dimensional surface irrigation model. J. Irrig. Drain. Eng. 129(6): 402-411.
Clemmens, A. J., T. L. Wahl, M. G. Bos, and J. A. Replogle. 2001b. Water Measurement in Flumes and Weirs. Publication #58. Wageningen, The Netherlands: Int'l. Inst. for Land Reclamation and Improvement (ILRI).
Collis-George, N. 1974. A laboratory study of infiltration advance. Soil Sci. 117(5): 282-287.
Cunge, J. A., F M. Holly, and A. Verwey. 1980. Practical Aspects of Computational River Hydraulics. Boston, Mass.: Pitman Advanced Publishing Program.
Dedrick, A. R. 1991. Surface-drained level basins for rice production. In Proc. Spec. Conf. lrrig. and Drain. Div. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
Dudley, S. J., S. R. Abt, C. D. Bonham, and C. Fischenich. 1996. Efficiency of estimating vegetative density using point frame. In Proc. North Am. Water and Environ. Congr. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Dunn, C., F. Lopez, and M. Garcia. 1996. Vegetation-induced drag: An experimental study. In Proc. North Am. Water and Environ. Congr. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Elliot, R. L., and W R. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans. ASAE 25: 396-400.

Enciso-Medina, J., D. Martin, and D. Eisenhauer. 1998. Infiltration model for furrow irrigation. J Irrig. Drain. Eng. 124(2): 73-80.

Esfandiari, M., and B. L. Maheshwari. 1997. Application of the optimization method for estimating infiltration characteristics in furrow irrigation and its comparison with other methods. Agric. Water Mgmt. 34: 169-185.

Fangmeier, D. D., A. J. Clemmens, M. El-Ansary, T. S. Strelkoff, and H. E. Osman. 1999. Influence of land leveling precision on level-basin advance and performance. Trans. ASAE 42(4): 1019-1025.

Finkel, H. J., and D. Nir. 1960. Determining infiltration rates in irrigation borders. J Geophys. Res. 65: 2125-2131.

Garabedian, P 1964. Partial Differential Equations. New York, N.Y.: John Wiley & Sons.

Green, W. H., and G. Ampt. 1911. Studies of soil physics. Part I: The flow of air and water through soils, J. Agric. Sci. 4: 1-24.

Hall, W. A. 1956. Estimating irrigation border flow. Agric. Eng. 37: 263-265.

Hart, WE., D. L. Bassett, and T. S. Strelkoff. 1968. Surface irrigation hydraulics Kinematics. J lrrig. Drain. Div., ASCE 94(IR4): 419-440.

Hartley, D. M. 1992. Interpretation of Kostiakov infiltration parameters for borders. J lrrig. Drain. Eng. 118(1): 156-165.

Heermann, D. F., and N. A. Evans. 1969. Estimate of resistance from roughness measurements. Unpublished contribution from the Northern Plains Branch, Soil and Water Conservation Res. Div., ARS, USDA and the Colo. Agric. Expt. Stn., Fort Collins, Colo. to W. Reg. Res. Proj. W-65, USDA-CSRS.

Hromadka II, T. V., and J. J. DeVries. 1988. Kinematic wave routing and computational error. J Hydr. Eng. 114(2): 207-217.

Hutson, S. S., N. L.Barber, J. F Kenny, K. S. Linsey, D. S. Lumia, and M. A Maupin. 2004. Estimated Use of Water in the United States in 2000. USGS Circular 1268. Available at: water.usgs.gov/pubs/circ/2004/circ 1268/.

ISED. 1989. SIRMOD, Surface Irrigation Simulation Software. User's Guide. Logan, Utah: Irrig. Software Eng. Div., Dept. Agric. and Irrig. Eng., Utah State Univ.

Israelsen, O. W 1932 Irrigation Principles and Practices. New York, N.Y.: John Wiley & Sons.

Izuno, FT., and T. H. Podmore. 1985. Kinematic wave model for surge irrigation research in furrows. Trans. ASAE 28(4): 1145-1150.

Kahaner, D., C. Moler, and S. Nash. 1989. Numerical Methods and Software. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
Katopodes, N. D. 1990. Observability of surface irrigation advance. J. Irrig. Drain. Eng. 116(5): 656-675.
Katopodes, N. D., and T. S. Strelkoff 1977a. Hydrodynamics of border irrigation: Complete model. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 103(IR3): 309-324.
Katopodes, N. D., and T. S. Strelkoff. 1977b. Dimensionless solutions of border irrigation advance. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 103 (IR4): 401-417.
Katopodes, N. D., J. H. Tang, and A. J. Clemmens. 1990. Estimation of surface irrigation parameters. J. Irrig. Drain. Eng. 116(5): 676-695.
Kemper W D., W H. Heinemann, D. C. Kincaid, and R. V Worstell. 1981. Cablegation: I. Cable controlled plugs in perforated supply pipes for automatic furrow irrigation. Trans. ASAE 24(6): 1526-1532.
Kincaid, D. S., and J. L. Stevens. 1992. CABLE. A Design Program for the Cablegation Automatic Surface Irrigation System. Kimberly, Idaho: USDA-ARS.
Kostiakov, A. N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. In Trans., 6th Comm., Int'l. Soc. of Soil Sci. (In Russian) Part A: 17-21. Moscow: ISSS, Russian Federation.
Kouwen, N., R-M. Li, and D. S. Simons. 1981. Flow resistance in vegetated waterways, Trans. ASAE 24(3): 684-690, 698.
Kruse, E. G., C. W. Huntley, and A. R. Robinson. 1965. Flow resistance in simulated irrigation borders and furrows. Conserv. Res. Report 3: 1-56. Washington, D.C:. USDA-ARS.
Lenau, C. W. 1969. Discussion of Hart et al. (1968), Surface irrigation hydraulics: Kinematics. J. Irrig. Drain. Dtv., ASCE 95(IR4): 624-627.
Lewis, M. R. 1937. The rate of infiltration of water in irrigation practice. Trans. AGU 18: 361-368.
Lewis, M. R., and W. E. Milne. 1938. Analysis of border irrigation. Agric. Eng. 19: 267-272.
Ley, T. W. 1978. Sensitivity of furrow irrigation performance to field and operation variables. M.Sc. thesis. Fort Collins, Colo.: Dept. of Ag. and Chem Eng., Colorado State Univ.
Lighthill, M. J., and G. B. Whitham. 1955. On kinematic waves. I: Flood movements in long rivers. Proc. Royal Soc. of London, Series A 229: 281-316.
Maheshwari, B. L. 1992. Suitability of different flow equations and hydraulic resistance parameters for flows in surface irrigation: A review. Water Resour. Res. 28(8): 2059-2066.
Maheshwari, B. L., A. K. Turner, T. A. McMahon, and B. J. Campbell. 1988. An optimization technique for estimating infiltration characteristics in border irrigation. Agric. Water Mgmt. 13(1): 13-24.

Merriam, J. L. 1971. Adjusting cylinder infiltrometer data for field use. ASAE paper No. 71-13. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Merriam, J. L., and A. J. Clemmens. 1985. Time rated infiltrated depth families. In Development and Management Aspects of Irrigation and Drainage, Spec. Conf. Proc., Irrig. and Drain. Div., 67-74. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Monserrat, J. 1994 Solucion al Problema inverso del riego por tablares mediante un modelo hidrologico mixto, Tesis Doctoral. Universidad de Leida, Escuela Tecnica Superior de Ingenieria Agraria.

Monserrat, J., and J. Barragan. 1998. Estimation of the surface volume in hydrological models for border irrigation. J Irrig. Drain. Eng. 124(6): 238-247.

NRCS. 1984. Section 15: Irrigation, Chapter 5: Furrow Irrigation. In National Engineering Handbook. Washington, D.C.: USDA NRCS.

Palomo, M. J., N. A. Oyonarte, L. Mateos, and J. Roldan. 1996. Infiltracion en riego por surcos mediante pulsaciones intermitentes. In Proc. XIV Congreso Nacional de Riegos, 235-243. Aguadulce (Almeria). (in Spanish).

Perea, H. 2005. Development, verification, and evaluation of a solute transport model in surface irrigation. Ph.D. diss. Tucson, Ariz.: Univ. Arizona.

Perea, H., T. S. Strelkoff, J. Simunek, E. Bautista, and A. J. Clemmens. 2003. Unsteady furrow infiltration in the light of the Richards equation. In Proc. 2nd Int 'I Conf. on Irrig. and Drain., 625-636. U.S. Com. on Irrig. and Drain.

Petryk, S., and G. Bosmajian. 1975. Analysis of flow through vegetation. J. Hydr. Eng. 101(7): 871-884.

Philip. J. R. 1969. Theory of infiltration. In Advances in Hydroscience. Yen Te Chow, ed. 5: 215-295. New York, N.Y.: Academic Press.

Philip, J. R., and D. A. Farrell. 1964. General solution of the infiltration advance problem in irrigation hydraulics. J Geophys. Res. 69: 621-631.

Playan, E., J. M. Faci, and A. Serreta. 1996. Modeling microtopography in basin irrigation. J Irrig. Drain. Eng. 122(6): 339-347.

Playan, E., and P. Garcia-Navarro. 1997. Radial flow modeling for estimating level-basin irrigation parameters. J Irrig. Drain. Eng. 123(4): 229-237.

Playan, E., W. R. Walker, and G. P Merkley. 1994. Two-dimensional simulation of basin irrigation. I: Theory. J Irrig. Drain. Eng. 120: 837-856.

Press, W H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P Flannery. 2001. Numerical Recipes in FORTRAN 77: The Art of Scientific Computing. 2nd ed. Cambridge, England: Cambridge Univ. Press.

Purkey, D. R., and W. W Wallender. 1989. Surge infiltration variability. Trans. ASAE 32(3): 894-900.

Ree, W.O., and V J. Palmer. 1949. Flow of Water in Channels Protected by Vegetated Linings, 1-115. Bulletin No. 967 Washington, D. C.: U.S. Soil Conserv.

Roth, R. L., D. W Fonken, D. D. Fangmeier, and K. T. Atchison. 1974. Data for border irrigation models. Trans. ASAE 17(1): 157-161.

Saint Venant, B. D. 1871. Theorie du mouvement non-permanente des eaux avec application aux crues des rivieres et a l'introduction des marees dans leur lit. Compte Rendus, Acad. Sci. 73: 148-154,237-240.

Sakkas, J. G., and T. S. Strelkoff. 1974. Hydrodynamics of surface irrigation: Advance phase. J Irrig. Drain. Div., ASCE 1 00(IR1): 31-48.

Sakkas, J. G., C. V. Bellos, and M. N. Klonaraki. 1994. Numerical computation of surface irrigation. Irrig. Sci. 15: 83-99.

Salt River Project. 1960. Major Facts in Brief. Phoenix, Ariz.: Salt River Project.

Sayre, W W., and M. L. Albertson. 1961. Roughness spacing in rigid open channels. J. Hydr. Div. 87(3): 121-149.

Schmitz, G. H., and G. J Seus. 1987. Analytical solution of simplified surge flow. J Irrig. Drain. Eng. 113(4): 603-610.

Schmitz, G. H. 1993a. Transient infiltration from cavities. I: Theory. J. Irrig. Drain. Eng. 119(3): 443-457.

Schmitz, G. H. 1993b. Transient infiltration from cavities. II: Analysis and application. J. Irrig. Drain. Eng. 119(3): 458-470.

Schmitz, G. H., and G. J. Seus. 1990. Mathematical zero-inertia modeling of surface irrigation: Advance in borders. J. Irrig. Drain. Eng. 116(5): 603-615.

Schmitz, G. H., and G. 1. Seus. 1992. Mathematical zero-inertia modeling of surface irrigation: Advance in furrows. J. Irrig. Drain. Eng. 118(1): 1-18.

Shatanawi, M.R. and Strelkoff, T.S. 1984. Management contours for border irrigation, J. Irrig. Drain. Eng. 110(4): 393-399.

Shayya, W H., V F Bralts, and L. J. Segerlind. 1991. Zero-inertia surface irrigation design: A finite element approach. ASAE Paper No. 91-2099. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Shepard, J. S., W. W. Wallender, and J. W Hopmans. 1993. One-point method for estimating furrow infiltration. Trans. ASAE 36(2): 395-404.

Sherman, B., and V. J. Singh. 1982. A kinematic model for surface irrigation: An extension. Water Resour. Res. 18(3): 659-667.

Shockley, H. J., G. Woodard, and J. T. Phelan. 1964. A quasi-rational method of border irrigation design. Trans. ASAE 7(4): 420-423,426.

Simunek, J., M. Sejna, and M. T. van Genuchten. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 2.0, IGWMC-TPS-53. Golden, Colo.: Int'I. Grd. Water Modeling Ctr., Colorado School of Mines.

Singh, V J., and R. S. Ram. 1983. A kinematic model for surface irrigation: Verification by experimental data. Water Resour. Res. 19(6): 1599-1612.

Singh, V P., and F. X. Yu. 1989a. An analytical closed border irrigation model I: Theory. Agric. Water Mgmt. 15: 223-241.

Singh, V. P., and F X. Yu. 1989b. An analytical closed border irrigation model II: Experimental verification. Agric. Water Mgmt. 15: 243-252.

Skonard, C. 2002. A field-scale furrow irrigation model. Ph.D. diss. Lincoln, Nebr.: Univ. of Nebraska.

Smith, R. E. 1972. Border irrigation advance and ephemeral flood waves. J. lrrig. Drain. Div., ASCE 98(IR2): 289-307.

Strelkoff, T. 1969. One-dimensional equations of open channel flow. J. Hydr. Eng. 95(HY3): 861-876.

Strelkoff, T. 1977. Algebraic computation of flow in border irrigation. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 103(IR3): 357-377.

Strelkoff, T. 1985. BRDRFLW' A Mathematical Model of Border Irrigation, 1-100. Publ. ARS-29. Washington, D.C.: USDA-ARS.

Strelkoff, T. 1990. SRFR: A computer program for simulating flow in surface irrigation: Furrows-Basins-Borders. WCL Report #17 Phoenix, Ariz.: U.S. Water Conserv. Lab.

Strelkoff, T. 1992. EQSWP: Extended unsteady flow double-sweep equation solver. J. Hydr. Eng. 118: 735-742.

Strelkoff, T. S., E. Bautista, and A. J. Clemmens. 2003b. Errors inherent in simplified infiltration parameter estimation. In Proc. 2nd Int 'l. Conf. on Irrig. and Drain., 735-745. Phoenix, Ariz: U.S. Com. on Irrig. and Drain.

Strelkoff, T. S., and D. L. Bjomeberg. 2001. Hydraulic modeling of irrigation-induced furrow erosion. Selected papers from the 10th Int'l Soil Conserv. Organiz. Conf. , lSCO '99. CD-ROM: 699-705.

Strelkoff, T. S., and A. J. Clemmens. 1994. Dimensional analysis in surface irrigation. Irrig. Sci. 15: 57-82.

Strelkoff, T S., and A. J. Clemmens. 1996a. Managing border irrigation for near-zero discharge. In Proc., North Am. Water and Environ. Congr. '96, CD-ROM. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Strelkoff, T. S., and A. J. Clemmens. 1996b. Overviews of border irrigation performance for optimization. ASAE Paper No. 962140. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Strelkoff, T. S., and A. J. Clemmens. 2001. Data-driven organization of field methods for estimation of soil and crop hydraulic properties. ASAE Paper No. 01-2256. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Strelkoff, T. S., A. J. Clemmens, M. El-Ansary, and M. Awad, M. 1999. Surface-irrigation evaluation models: Application to level basins in Egypt. Trans. ASAE 42(4): 1027-1036.

Strelkoff, T.S., Clemmens, A. J., and H. Perea-Estrada. 2006. Calculation of non-reactive chemical distribution in surface fertigation. Agric. Water Mgmt., 86:93-101.

Strelkoff, T. S., A. J. Clemmens, and B. V Schmidt. 1998. SRFR, Version 3.31: A Model for Simulating Surface Irrigation in Borders, Basins and Furrows. Phoenix, Ariz.: USWCL, USDA-ARS.

Strelkoff, T. S., A. J. Clemmens, B. V Schmidt, and E. J. Slosky. 1996. Border:A design and management aid for sloping border irrigation systems. In Model and Computer Program Software Documentation. WCL Report #21.

Strelkoff, T. S., and H. T Falvey. 1993. Numerical methods used to model unsteady canal flow. J. Irrig Drain. Eng. 119(4): 637-655.

Strelkoff, T. S., and N. D. Katopodes. 1977a. End depth under zero-inertia conditions. J Hydr. Eng. 103(HY7): 699-711.

Strelkoff, T. S., and N. D. Katopodes. 1977b. Border-irrigation hydraulics with zero inertia. J.Irrig. Drain. Div., ASCE 103(IR3): 325-343.

Strelkoff, T.S. and Shatanawi, M.R. 1984. Normalized graphs of border-irrigation performance, J. Irrig. Drain. Eng. 110(4): 359-374.

Strelkoff, T. S., A. H. Tamimi, and A. J. Clemmens. 2003a. Two-dimensional basin flow with irregular bottom configuration. J. Irrig. Drain. Eng. 129(6): 391-401.

Tabuada, M. A., Z. J. C. Rego, G. Vachaud, and L. S. Pereira. 1995. Modelling of furrow irrigation. Advance with two-dimensional infiltration. Agric. Water Mgmt. 28: 201-221.

Tinney, E. R., and D. L. Bassett. 1961. Terminal shape of a shallow liquid front. J. Hydr. Div. 87(HY5): 117-133.

Trout, T. J. 1992. Flow velocity and wetted perimeter effects on furrow infiltration. Trans. ASAE 35(3): 855-862.

Trout, T. J., and G. S. Johnson. 1989. Earthworms and furrow irrigation infiltration. Trans. ASAE 32(5): 1594-1598.

Trout, T. J., R. E. Sojka, and R. D. Lentz. 1995. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration. Trans. ASAE 38: 761-765.

USDA. 1974. Chapt. 4, Section 15: Border Irrigation. In National Engineering Handbook. Washington, D.C.: USDA, Soil Conservation Service.

USDA. 1985. Chapt. 5, Section 15: Furrow Irrigation. In National Engineering Handbook. Washington, D.C.: USDA, Soil Conservation Service.

USDA. 1999. SRFR, Version 4.06. Maricopa, Ariz.: U.S. ALARC, USDA-ARS. USDA-ARS. 2006. WinSRFR: Surface Irrigation Analysis, Design, and Simulation. V. 1.1. U.S. Arid Land Agricultural Research Center. Maricopa, AZ 85239. Available at: http://www.ars.usda.gov/services/software/download.htm?softwareid= 146.

Valiantzas, J. D. 1994. Simple method for identification of border infiltration and roughness characteristics, J Irrig. Drain. Eng. 120(2): 233-249.

Valiantzas, J. D. 1997 Surface irrigation advance equation: Variation of subsurface shape factor, J. Irrig. Drain. Eng. 123(4): 300-306.

Valiantzas J. D., S. Aggelides, and A. Sassalou. 2001, Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. Agric. Water Mgmt. 52: 17-32.

Walker, W R. 2003. SIRMOD III: Surface Irrigation Simulation, Evaluation, and Design. Guide and technical documentation. Logan, Utah: Dept. of Bio and Irrig. Eng., Utah State Univ.

Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness, J Irrig. Drain. Eng., 131(2): 129-136.

Walker, W. R. and Busman, ID. 1990. Real-time estimation of furrow infiltration, J Irrig. Drain. Eng., 116(3): 299-318.

Walker, W. R., and A. S. Humpherys. 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model. J. Irrig. Drain. Eng. 109(4): 377-392.

Walker, W. R., and B. Kasilingam. 2004. Another look at wetted perimeter along irrigated furrows: Modeling implications. In Proc. World Water and Environ. Resour. Congr. CD-ROM. Reston, Va.: EWRI/ASCE.

Walker, W. R., and G. V Skogerboe. 1987. Surface Irrigation Theory and Practice. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

Wallender, W. W., and M. Rayej. 1985. Zero-inertia surge model with wet-dry advance. Trans. ASAE 28(5): 1530-1534.

Weir, G. J. 1983. A mathematical model for border strip irrigation. Water Resour. Res. 19(4): 1011-1018.

Weir, G. J. 1985. Surface irrigation advance motion after gate closure. Water Resour. Res. 21(9): 1409-1414.

Whitham, G. B. 1955. The effects of hydraulic resistance in the dam-break problem. Proc., Royal Society of London, Series A. 227: 399-407. London, England.

Wu, I. 1972. Recession flow in surface irrigation. J Irrig. Drain. Div., ASCE 98(IR1): 77-90.

Yost, S. A., and N. D. Katopodes. 1998. Global identification of surface irrigation parameters. J. Irrig. Drain. Eng. 124(3): 131-139.

Zerihun, D., C. A. Sanchez, A. Furman, and A. W Warrick. 2005. A coupled surface-subsurface flow model for improved basin irrigation management. J. Irrig. Drain. Eng. 131(2): 111-128.

Zerihun, D., C. A. Sanchez, and K. L. Farrell-Poe. 2004. Modified two-point method for closed-end level-bed furrows. In Proc. 2004 World Water and Environ. Resour. Congr. CD-ROM. Reston, Va.: EWRI/ASCE.

الفصل الرابع عشر

تصميم النظم السطحية

ألبرت ج. كليمنس (USDA-ARS، ماريكوبا، أريزونا)
وين ر. وواكر (جامعة ولاية يوتا، لوقان، يوتا)
ديلمر د. فانجماير (جامعة أريزونا، توكسون، أريزونا)
ليلاند أ. هاردي (مؤسسة هندسة المياه والاستصلاح، سايلم، أوريجون)

ملخص: يعد تصميم وتشغيل نظم الري السطحي تحدياً ؛ لأن تسرب التربة، ومقاومة التربة والمحصول يؤثران على حركة المياه فوق الحقل وبالتالي على توزيع المياه. وفي الماضي تم التعامل مع تصميم كل طريقة ري سطحي بشكل مختلف بسبب الاختلافات في البساطة التي يمكن بها وصف المراحل المختلفة للري. مما أدى إلى جعل تحليل وتصميم نظم الري السطحي تبدو غير متصلة. وفي هذا الفصل سيتم تقديم نفس الإجراءات الأساسية لتصميم كل النظم السطحية مع بعض الاختلاف عند الضرورة لجعل الإجراءات مباشرة وصحيحة بدرجة كافية. وأساس هذه التصاميم هو القدرة على توقع التقدم، والانحسار، وتوزيع المياه المتسربة، والأداء بالنسبة لمجموعة محددة من الظروف، ويعد قانون حفظ الكتلة هو المفهوم الرئيس مع التقريبات العملية المستخدمة عند الحاجة، وهناك أمثلة مقدمة في كل طريقة.

الكلمات الأساسية: الحوض، الشريحة، التصميم، الخط، الري، الري السطحي.

(١٤,١) مقدمة

تسمى طرق الري السطحي بهذا الاسم لأن المياه يتم توزيعها عبر الحقل عن طريق التدفق فوق سطح الحقل، وبالتالي فإن تسرب التربة، ومقاومة التربة والمحصول للتدفق لهما تأثير كبير على توزيع المياه. ولأن هذه الظروف تتغير مع كل من الزمن والمكان، فإن تصميم وتشغيل نظم الري السطحية غالباً ما تكون أكثر صعوبة من نظم الري التي تعمل بالضغط، ومع هذا مازالت نظم الري السطحية تمثل أكثر من ٩٠٪ من الأراضي المروية في العالم (FAO, 2005)، وتقريباً نصف الأراضي المروية في الولايات المتحدة (Hutson, 2004). وفي حين أن بعض الأراضي يتم تحويلها إلى نظم الري التي تعمل بالضغط، إلا أن جزءًا كبيراً من الأراضي من المتوقع أن تبقى تحت نظم الري السطحية في المستقبل القريب، ويمكن أن تكون نظم الري السطحية طريقة ري فعالة، وفي بعض الحالات يمكن أن تكون كفاءتها تساوي كفاءات طرق الري التي تعمل بالضغط (Kennedy, 1994: 166)، ومازالت نظم الري السطحية الطريقة الأكثر اقتصاداً في كثير من الحالات.

ويمكن تصنيف نظم الري السطحية طبقاً لوظيفتها هيدروليكياً، ويمكن وضع أوجه الاختلاف عن طريق منحنيات التقدم والانحسار، التي توصف الزمن الذي تصل عنده جبهة البلل المتقدمة إلى موقع محدد، والزمن الذي عنده لا يحدث توقف للمياه على السطح. وهذه المقارنة الهيدروليكية تفترض أن المياه تدخل الحقل أو مجموعة الري على امتداد طرف واحد وتتدفق إلى الطرف الآخر بشكل منتظم عبر اتساع المجموعة. ونحن نميز بين ثلاثة أنواع من الري السطحي: الخطوط المائلة، والشرائح، والأحواض المستوية، والاختلافات الفيزيائية الرئيسة الموضحة في الجدول رقم (١٤,١)، وهي تؤدي إلى الاختلافات الهيدروليكية، وبشكل أساسي مقدار معدل التدفق (والنمط) والشكل العام لمنحنى الانحسار والمنحنيات المائية للجريان السطحي.

الجدول رقم (١٤,١). أنواع نظم الري السطحي.

الطريقة	التحكم في التدفق الفرعي	الميل	التحكم في التدفق	حالات النهاية
الخطوط المائلة	الخطوط	المنحدرة أو منخفضة التدرج، إما يكون عبر الميل	للخطوط منفردة	المفتوحة، المسدودة، أو مجموعة الخطوط المسدودة
الشرائح	المزروعة بشكل مسطح أو المموجة	المنحدرة أو منخفضة التدرج عبر الميل على الميول الأوسط	الموزعة عبر الطرف العلوي	المفتوحة، أو المسدودة، أو المسدود جزئياً
الأحواض المستوية/ الخطوط المستوية	المزروعة بشكل مسطح، على الخطوط أو القاع	صفر في كل الاتجاهات	يمكن أن يكون تدفق مفرد	مسدودة إذا كانت على شكل خطوط، وكلها متصلة من الداخل
	الخطوط	صفر في اتجاه المجرى، ويمكن أن يكون لها ميل عرضي	للخطوط المفردة	المسدودة، أو مجموعة الخطوط المسدودة

إن الهدف من هذا الفصل هو عرض طرق تصميم نظم الري السطحية الحديثة، حيث تتضمن كلمة الحديثة تحكماً معقولاً في مورد المياه، ويركز الفصل على ثلاثة أنواع رئيسية من نظم الري السطحي، أما تصميم حقول الأرز، وطرق أخرى مثل المتون الكنتورية، والقنوات الكنتورية، والفيضان الجامح، ... إلخ. فلن يتم مناقشتها.

(١٤,٢) اعتبارات ومناهج التصميم

تعد كثير من نظم الري السطحي غير فعالة ومنخفضة الكفاءة، ويمكن أن يكون سبب هذا القيود الفيزيائية (مثل، المنحدرات الأرضية شديدة الميل، وأنواع التربة الضحلة، والموارد المائية القليلة، ... إلخ)، أو بسبب التخطيط والتصميم السيئ، أو بسبب التشغيل والإدارة غير الصحيحين، والمناقشة الشاملة لقيود وحدود نظم الري السطحي تقع خارج نطاق هذا الفصل، ولمزيد من التفاصيل، انظر والكر وسكوجيربو

Walker and Skogerboe (1987)، وكلمنز وديدريك Clemmens and Dedrick (1994)، أو بيرت وآخرين Burt *et al.* (1999). وإن إحدى المزايا التي يمتاز بها الري السطحي على طرق الري التي تعمل تحت ضغط هي أنها لا تتطلب في الغالب مصدراً مائياً جيداً يمكن الاعتماد عليه. ويمكن تعديلها وفقاً لمعدلات التدفق المختلفة، والتدفقات التي تختلف بشكل عشوائي، والتدفقات المائية قليلة الجودة (بها رواسب، وركام، ...إلخ). ولقد تركزت الجهود في أبحاث الري السطحي وتوسعته على طرق توفير تحكم أفضل في المياه، بالتحكم في معدل التدفق أو التحكم في الحجم المضاف، وهي تركز بوجه عام على كيفية تشغيل النظام. ويعد تصميم وتخطيط نظم الحقل على نفس القدر من الأهمية، ولا يمكن استخدام التشغيل الجيد في حقل سيئ التصميم، ولكن عندما يتم تصميم نظم الري السطحي بشكل جيد واستخدام خطوات التشغيل الأكثر حداثة، فإن كفاءات وانتظاميات الري يمكن أن تكون مرتفعة.

(١٤,٢,١) أهداف التصميم

إن كمية المياه التي يراد إضافتها أثناء عملية الري، والتي يشار إليها بعمق الإضافة المستهدف أو المطلوب، تعد اعتباراً تصميمياً رئيسياً. وبشكل نمطي، لنظم الري السطحي مدى ضيق من أعماق الإضافة المستهدفة والتي خلالها تكون فعالة ومنتظمة بشكل معقول. ويجب أن يقوم مسئول الري بتعديل ممارسات الري (معدل التدفق وزمن الإضافة) لتتوافق مع ظروف الحقل (التسرب والخشونة)، ويعمل من يقومون بالري على تطوير قواعد التشغيل التي يستخدمونها للقيام بالتعديلات. وسيعمل التصميم السيئ للحقل على جعل هذه التعديلات صعبة على المشغل، كما يجب أن يشمل التصميم الجيد إرشادات تشغيل النظام.

وتكون نظم الري السطحي أكثر قابلية للتطبيق على المنحدرات الحادة أو المستوية، وأما على المنحدرات الأكثر حدة فيمكن أن يصبح الانجراف كبيراً ويمكن أن يكون مدى شروط التشغيل ضيقاً (على سبيل المثال، المدى الضيق من الأعماق المستهدفة).

ويتم النص على أهداف التصميم بشكل نمطي بدلالة تحقيق بعض كفاءات الإضافة المرغوبة E_a. وهذه الكفاءة تسمى كفاءة الإضافة المحتملة PE_a، هنا لتمييزها عن كفاءة الحقل المقاسة E_a. ويقوم التصميم في المعتاد على إمداد العمق المستهدف للمياه في كل مكان في الحقل. وتعد PE_{min} كفاءة الإضافة عندما يكون أدنى عمق متسرب مساوياً للعمق المستهدف:

$$PE_{min} = \frac{d_{min}}{d_a} = \frac{d_{req}}{d_a} \quad (١٤,١)$$

حيث إن: d_{req} هو العمق المطلوب، و d_{min} هو أدنى عمق متسرب، و d_a هو عمق مياه الري المضافة، وفي هذه الحالة يكون العمق المضاف الذي يؤدي إلى أدنى عمق مساوياً تماماً للعمق المطلوب، وعند التطبيق العملي، فإنه يتم السماح باستخدام بعض نظم الري تحت السطحي عادةً ويقوم التشغيل على تلبية متطلب عمق الربع المنخفض. ولأن التصميم لا يأخذ في اعتباره كل الاختلاف الذي توجد داخل الحقل، فسيتم استخدام التصميم القائم على تلبية متطلب أدنى عمق، مع استثناء أنه عندما يتم تشغيله على نحو سليم فإنه سيتم تلبية عمق الربع المنخفض.

(١٤,٢,٢) اختيار ظروف ومعاملات التصميم

يتطلب تصميم الري السطحي تقدير المعاملات التي تحدد تسرب المياه إلى داخل التربة ومدى مقاومة حركة المياه التي يسببها سطح التربة والنبات. وتلك هي العوامل الرئيسة في التصميم وغالباً ما يكون من الصعب جداً تحديدها بدقة، ويمكن أن تتغير هذه المعاملات عبر مسار موسم النمو، مما يزيد من تعقيد التصميم. وعادة تكون القيم المنشورة لمعامل مانتق للخشونة n، كافية لأغراض التصميم، ولكن تزداد صعوبة تقدير التسرب بشدة. وبقدر الإمكان يجب الحصول على تقدير هذه المعاملات من قياسات الحقل الفعلية، وبشكل مفضل أثناء عملية الري، يمكن أن تتغير ظروف تسرب التربة بشكل كبير عندما تتحول الأرض حديثاً إلى نظام الري السطحي.

وبمجرد الحصول على تقدير معقول لمعامل التسرب يتم اختيار التصميم، ويجب القيام بتحليل دقيق لتحديد كيف يمكن أن يتغير التصميم تحت الظروف المختلفة للتسرب، ومقاومة التدفق، وعمق التسرب المستهدف، وهي ظروف من المحتمل أن يواجهها من يقوم بالري.

(١٤,٢,٣) معادلات التسرب في الشرائح والأحواض

يعد التسرب أحد أكثر العوامل أهمية التي تؤثر على تصميم وأداء نظم الري السطحي. وللأسف يعد تقدير ظروف التسرب أحد أكثر العوامل صعوبة التي يتم القيام بها في الحقل، وقد تم استخدام العديد من المعادلات لتحديد التسرب. وطور فيليب Philip (1957) معادلات لظروف التربة المثالية (مثل الخواص الفيزيائية المنتظمة) للعمق المتسرب مقابل الزمن بالنسبة للزمن القصير:

$$d(\tau) = k\tau^{1/2} + b\tau \qquad i(\tau) = 1/2k\tau^{-1/2} + b \qquad (١٤,٢)$$

وبالنسبة للزمن الطويل:

$$d(\tau) = c_2 + b\tau \qquad i(\tau) = b \qquad (١٤,٣)$$

حيث إن:

τ = زمن التسرب.

k = النفاذية.

b = مرتبطة بمعامل التوصيل الهيدروليكي.

c_2 = ثابت مستنتج.

وللأسف ليست ظروف سطح التربة مثالية وكثير من الترب لا تتبع المعادلة رقم (١٤,٢) بشكل جيد في الأزمنة القصيرة. وكثير منها تتبع المعادلة رقم (١٤,٣) في الأزمنة الطويلة ولكن بقيم مختلفة من c_2 عن تلك التي تم استنتاجها نظرياً.

وكان هناك ميل لدى مهندسي الري لاستخدام معادلة كوستيكوف أو معادلة كوستيكوف-لويس، أو معادلة مختلفة عن ذلك محددة كما يلي:

$$d(\tau) = k\tau^{a} \qquad i(\tau) = ak\tau^{a-1} \qquad (١٤,٤)$$

أو في صيغة معدلة كما يلي:

$$d(\tau) = c + k\tau^{a} + b\tau \qquad i(\tau) = ak\tau^{a-1} + b \qquad (١٤,٥)$$

حيث إن b ، و c ، و k ثوابت يتم استنتاجها عملياً. وفي المعادلة رقم (١٤,٤) تكون قيمة الأس a غالباً أقل من ٢/١، مما يوضح الملاءمة الضعيفة للمعادلة رقم (١٤,٢). ولكن مع المعادلة رقم (١٤,٤) يؤول معدل التسرب إلى الصفر عندما يؤول الزمن إلى مالانهاية. وتصل أنواع التربة بشكل عام إلى معدل تسرب نهائي ثابت. وفي حالة أنواع التربة خشنة القوام، حيث يكون زمن التسرب المطلوب قصيراً، فإن هذا يحدث بعد أزمنة فرصة الري التقليدية. وفي حالة أنواع التربة ناعمة القوام يتم الوصول إلى معدل التسرب النهائي أثناء الري ويجب أن يتم احتواؤه.

وللتوافق مع التطور النظري، تم استخدام معادلة كوستيكوف الفرعية، حيث يقوم الفرع الأول باستخدام المعادلة رقم (١٤,٤) (أو معادلة رقم (١٤,٥) مع اعتبار b تساوي صفراً) في حالة الأزمنة القصيرة، وينتقل إلى المعادلة رقم (١٤,٣) عندما يكون معدل التسرب (في حالة اشتقاق المعادلة بالنسبة للزمن) مساوياً لقيمة b. وفي حالة الترب التي تصل إلى معدل تسرب نهائي ثابت تقريباً أثناء الري، فإن التصميم والتقييم يمكن تبسيطهما إلى حد كبير باستخدام هذه المعادلة. وحالات معادلات كوستيكوف الفرعية هي:

$$d(\tau) = c + k\tau^{a} \qquad i(\tau) = ak\tau^{a-1} \qquad \text{في حالة: } \tau \le \tau_B$$

$$d(\tau) = c_2 + b\tau \qquad i(\tau) = b \qquad \text{في حالة: } \tau \ge \tau_B \qquad (١٤,٦)$$

حيث إن τ_B هو الزمن الذي يتوافق عنده عمق التسرب ومعدل التسرب للفرعين. وفي حالة أنواع التربة الطينية المتشققة، يمكن أن يكون العمق المتسرب عبر الدقائق القليلة الأولى للبلل كبيراً بالنسبة للعمق الكلي المتسرب أثناء الري. ومع المعادلة رقم (١٤,٤) يمكن أن يتلاءم هذا مع القيمة الصغيرة جداً للأس a. ولكن هذا يجعل المشكلة صعبة بشكل غير ضروري، حيث إنه سواء كان العمق الذي يتسرب فوراً أو مثلاً أثناء أول ١٠ دقائق يكون له تأثير طفيف على هيدروليكا الري أو على توزيع الأعماق المتسربة. وبالنسبة لهذه الأنواع من التربة فإن هذا يكون له معنى أكبر أن يتم موافقة التسرب مع معادلة مثل المعادلة رقم (١٤,٣) وتجاهل الجزء الأول من منحنى التسرب (مثل استخدام الجزء الثاني من المعادلة رقم (١٤,٦)).

وقامت هيئة المحافظة على التربة في الولايات المتحدة (SCS) (حالياً هيئة الحفاظ على الموارد الطبيعية) بتطوير سلسلة من عائلات تسرب التربة لمساعدة العاملين في الحقل على تحديد علاقات التسرب. وهذه العائلات يتم تحديدها وفقاً للمعادلة رقم (١٤,٥) مع b تساوي صفراً، و c تساوي ٧ مم، ولا تتبع علاقات التسرب في كثير من أنواع التربة عائلات هيئة المحافظة على التربة (SCS) على نحو جيد. وتكون قيمة الأس a في هذه المعادلة حوالي ٠,٧ لكل العائلات. وأنواع التربة غير المتشققة يكون لها في المعتاد قيم أسس تتراوح بين ٠,٣ و٠,٨. وقد قام ميريام وكليمنس Merriam and Clemmens (1985) بتطوير علاقة بين الأس a وزمن تسرب ١٠٠ مم لمدى واسع من بيانات الحقل. ومن هذا قاما بتطوير عائلات التسرب المعايرة زمنياً، بناءً على زمن تسرب ١٠٠ مم، والعمق النموذجي المطلوب في حالة الري السطحي. وعائلات التسرب المعايرة زمنياً موضحة في الجدول رقم (١٤,٢).

وتعد علاقات التسرب هذه عملية بأكملها، ويجب التركيز على الخصائص العامة لعلاقة التسرب وليس على المعادلة المختارة أو قيم المعاملات المختلفة. وطالما أن المعادلة والثوابت المختارة تتلاءم مع علاقة التسرب الملحوظة وتكون مفيدة، فإن هذا يكون تبريراً كافياً لاستخدامها. وعلى وجه التحديد من الأكثر أهمية الحصول على مدى

صحيح من الأعماق المتسربة عبر مدى من أزمنة فرصة التسرب. ويوضح الجدول رقم (١٤,٣) معاملات خمس دوال للتسرب، التي تمثل المعادلات المختلفة والتي تلائم التسرب الذي تصفه العائلة المعايرة زمنياً بحوالي ٦ساعات (٦ساعات لتسرب ١٠٠ مم ويكون أس كوستيكوف يساوي ٠,٥١). وهذا يناظر عائلة تسرب هيئة المحافظة على التربة بحوالي ٠,٤٥. ويتم تمثيل دوال التسرب هذه في الشكل رقم (١٤,١)، وهناك اختلاف طفيف جداً بين أعماق التسرب المتوقعة من خلال معادلات كوستيكوف الثلاثة المختلفة، وتتلاءم المعادلة الخطية حتى بين ٤ و ٨ ساعات على نحو جيد.

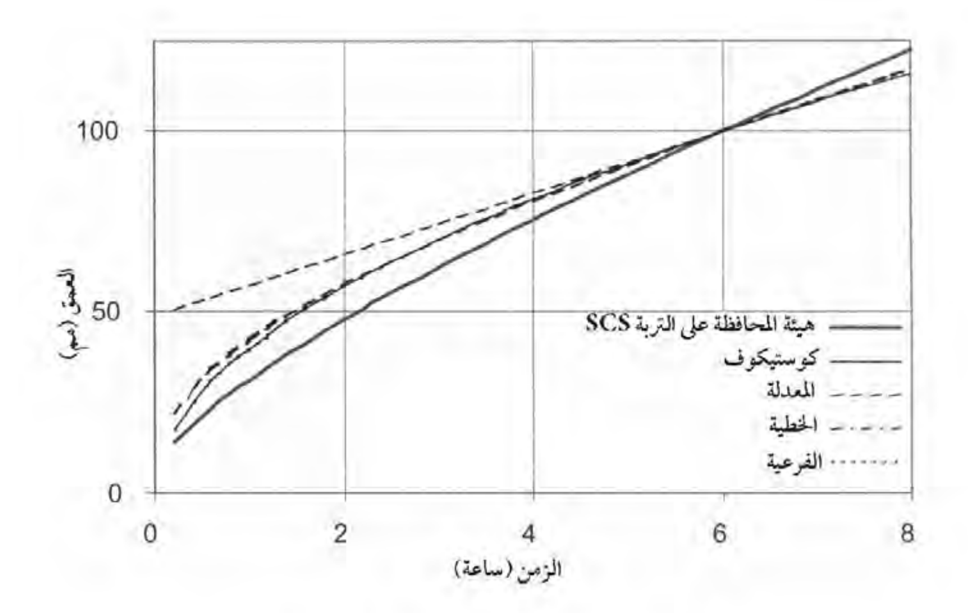
الجدول رقم (١٤,٢). عائلات التسرب المعايرة زمنياً (مقتبس من Merriam and Clemmens, 1985).

زمن تسرب ١٠٠ مم (ساعة)	أس كوستيكوف (أ)[أ]	ثابت كوستيكوف (K) (مم/ ساعة [أ])	(بوصة/ ساعة [أ])
٠,٥	٠,٧٣٩	١٦٧,٠	٦,٥٧
١	٠,٦٧٥	١٠٠,٠	٣,٩٤
٢	٠,٦١١	٦٥,٥	٢,٥٨
٤	٠,٥٤٧	٤٦,٨	١,٨٤
٨	٠,٤٨٣	٣٦,٦	١,٤٤
١٦	٠,٤١٩	٣١,٣	١,٢٣
٣٢	٠,٣٥٥	٢٩,٢	١,١٥

[أ] الأس ($a = 0.675 - 0.2125 \log_{10} (\tau_{100})$ ، حيث τ_{100} الزمن (مقاساً بالساعة) لتسرب ١٠٠مم.

الجدول رقم (١٤,٣). دوال التسرب التي تتوافق مع العائلة المعايرة زمنياً لمدة ٦ ساعات.

المعاملات	معادلة هيئة المحافظة على التربة SCS	معادلة كوستيكوف	معادلة كوستيكوف المعدلة	معادلة كوستيكوف الفرعية	المعادلة الخطية
k (مم/ساعة)	٢٤,٢٦	٤٠,١	٣٧,٣٩	٤٠,١	٠
a	٠,٧٥	٠,٥١	٠,٣٥	٠,٥١	٠
b (مم/ساعة)	٠	٠	٥,٠	٨,٥	٨,٩
c (مم/ساعة)	٧	٠	٠	٠	٤٩,٠



الشكل رقم (١٤,١). مقارنة بين دوال التسرب الخمس.

(١٤,٢,٤) معادلات التسرب في الخطوط

يمكن أن يكون التسرب في الخطوط أكثر تعقيداً بكثير من التسرب في الشرائح المسطحة أو الأحواض بسبب الطبيعة ثنائية البعد للقطاع العرضي للخطوط، ويعد التسرب في الشرائح والأحواض بشكل عام أحادي البعد لأسفل. ويمكن أن يتأثر التسرب في الخطوط بالعرض المبلل من المجرى المائي والتدفق الجانبي داخل قاع الخط. وإذا سيطرت قوى الجاذبية على عملية التسرب (مثل حالة التربة شديدة الرملية)، فإن التسرب يمكن أن يكون متناسباً طردياً مع العرض المبلل. وإذا كانت الخطوط قريبة التباعد ونوع التربة ثقيلاً جداً بحيث تهيمن القوى الشعرية على التسرب، فإن التسرب الجانبي من الخطوط المجاورة سوف يقابل التسرب الذي يحدث بشكل ضروري عبر العرض الكلي، أي، من كل خط، ويصبح التسرب دالة في المسافة بين الخطوط.

والمشكلة الرئيسة هي أنه في كثير من الحالات، تكون ظروف التسرب واقعة في موقع وسط بين هاتين الحالتين المتباعدتين، ويمكن أن تختلف بشكل كبير مع الزمن أو على امتداد طول المجرى. فعلى سبيل المثال يمكن أن يؤدي التسرب عند بداية الحقل، حيث يكون معدل التدفق وعمق المياه كبيرين، إلى التسرب بعد مثلاً ١٢ ساعة الذي يحكمه المسافة بين الخطوط بشكل حتمي، في حين أنه عند النهاية الطرفية للخط حيث يكون معدل التدفق والعرض المبلل منخفضين بشكل كبير ويكون زمن فرصة التسرب صغيراً، فإن التسرب يمكن أن يتأثر بشكل كبير بالعرض المبلل.

إن خطوات تصميم هيئة المحافظة على التربة للخطوط المائلة (USDA, 1984) تقوم على استخدام دالة تسرب قائمة على المحيط المبلل عند العمق الطبيعي، زائداً ثابتاً عملياً قدره ٢١٣ مم لتمثيل التدفق الجانبي، وقد سُجل هذا كقيمة متوسطة ناتجة من اختبارات هائلة. وبالنسبة لري كل خط، فإن هذا العرض لا يجب أن يتجاوز المسافة بين الخطوط. إذن هذا العرض من المفترض أن يكون ثابتاً عبر الزمن والمسافة. والافتراض مع هذه التجربة هو أن عائلة تسرب هيئة المحافظة على التربة SCS لتربة ما يتم استخدامها لتصميم الري بالشرائح يمكن أن تستخدم لتصميم الخطوط المائلة، وعملياً لم تكن هذه التجربة ناجحة جداً.

وبالنسبة للاستخدام العام يحتاج التسرب بالفعل إلى أن يتم الحكم عليه من أداء الحقل لنظام الري. وإذا تم اختيار عرض ثابت للتسرب، فسيكون من الأبسط التعبير عن التسرب كدالة في تباعد الخطوط، مع إدراك أن التباعد الكبير (أو ما إذا كانت كل الخطوط يتم ريها) يمكن أن يغير ثوابت التسرب القائمة على تباعد الخطوط. وإن خطوات التصميم المقدمة هنا لا تأخذ في اعتبارها تأثير العرض المبلل على تسرب الخطوط. ولذلك يجب استخدام خطوات التصميم هذه مع بعض الحذر حيث إنها يمكن أن تزيد من قدر انتظامية الري.

وحيث لا تكون هناك معلومات متاحة عن تسرب الخطوط، فربما يكون من الضروري تقدير تسرب الخطوط من بيانات حقلية لتسرب الأسطوانة المزدوجة أو من

تجارب الري بالشريحة. وبالنسبة للميول المتوسطة، ومعدلات التدفق العالية، والخطوط قريبة التباعد، والتربة الثقيلة، يمكن افتراض أن التسرب يكون شبيهاً بعض الشيء بهذا الذي يحدث في الشرائح (أي، أحادي البعد وقائم على تباعد الخطوط)، ما عدا أن هناك ميلاً لمعدلات التسرب تبدأ بقيم أعلى وتنخفض بشكل أسرع (أي، بقيمة أصغر للأس a في معادلة لويس-كوستيكوف). وفي حالة الميول الأكثر حدة، ومعدلات التدفق المنخفضة، والتربة خشنة القوام، فإن معدلات التسرب للشرائح يمكن أن تطبق على العرض المبلل، مع زيادة ربما في قيمة k لتبرير بعض الحركة الجانبية والنقص في الأس a. مثل هذه التعديلات لابد من اعتبارها كتوقع فقط حيث إن آثار الاختلافات بين الشرائح والخطوط في التربة والانضغاط الناتجين من حركة الجرار يمكن أن تكون جوهرية.

ويوجد تعقيد إضافي لري الخطوط وهو أن عجلات المعدات تتحرك خلال بعض الخطوط وليس الأخرى، وتسبب حركة العجلات بوجه عام انضغاط وتماسك سطح التربة، وانخفاضاً في التسرب، وانخفاضاً في مقاومة التدفق. وفي بعض حالات نظام الخطوط المائلة، فإن فقط الصفوف التي مرت عليها العجلات أو فقط الصفوف التي لم تمر عليها العجلات هي التي يتم ريها. وحيثما يتم ري كليهما، فإن معدلات التدفق نحو الصفوف التي مرت عليها العجلات أو التي لم تمر عليها العجلات يتم ضبطها بشكل تقليدي من قبل من يقوم بالري؛ وبهذا يكون التقدم في كل الصفوف هو نفسه تقريباً. وليس هناك حاجة لهذه التعديلات في نظم ري الخطوط المستوية أو نظم ري الأحواض مستوية. وفي حالات أخرى يتم انضغاط الخطوط التي لم تمر عليها العجلات عن طريق جر أشياء ثقيلة فوقها (أحياناً تسمى تربيدات). وعند التفكير أيضاً في التغيرات في الخواص عبر الموسم، فإن يجب تطبيق خطوات التصميم غالباً على مدى واسع من الظروف. ولهذا السبب فإن بعض تقييمات الري تحاول فقط تحديد الظروف الحقلية المتوسطة (مثل دالة التسرب المحددة لمجموعة بأكملها)، والتي تفترض أن ممارسات الري والزراعة سوف تكون المثلى بعد التصميم.

(١٤,٢,٥) معادلات مقاومة التدفق

يتم وصف مقاومة التدفق عادةً عن طريق معامل مانتق للخشونة، وهذه المعادلة تربط معدل التدفق Q ، بمساحة التدفق A ، ونصف القطر الهيدروليكي R (المساحة على المحيط الخارجي المبلل)، وميل الاحتكاك S_f ، ومعامل مانتق n :

$$Q = \frac{AR^{2/3} S_f^{\ 1/2} C_u}{n} \qquad (١٤,٧)$$

ويسمح معامل الوحدات C_u ، بنفس قيم معامل مانتق n في كل من وحدات القدم-باوند والوحدات المترية. وبالنسبة لوحدات م ، م^٣/ث تكون قيمة C_u مساوية واحداً صحيحاً. وعند التعبير بدلالة معدل التدفق لكل وحدة عرض q ، وفي حالة الشرائح والأحواض، تصبح :

$$q = \frac{y^{5/3} S_f^{\ 1/2} C_u}{n} \qquad (١٤,٨)$$

حيث إن: y عمق التدفق و $q = Q/W$ ، حيث W عرض الحوض أو الشريحة، وتكون كل الوحدات في المعادلة رقم (١٤,٧) والمعادلة رقم (١٤,٨) هي وحدات المتر والثانية.

ونظرياً، يجب أن يتغير معامل مانتق n مع عمق التدفق في وجود النبات، ولكن التغيرات في معامل مانتق n عبر الموسم ومع التغيرات في كثافة النبات تكون بنفس كبر التغيرات التي تتسبب في عمق التدفق. ولأغراض التصميم يكون معامل مانتق الثابت n مرضياً. والقيم المنشورة لمعامل مانتق بالنسبة للمحاصيل المختلفة موضحة في الجدول رقم (١٤,٤). وقد تم ملاحظة أن قيم معامل مانتق n ترتفع إلى ما يساوي ٠,٤ في محصول القمح القريب التباعد، وهي قيمة أكبر بدرجة كبيرة من تلك المعطاة في الجدول. وكذلك، يمكن أن تسبب المحاصيل المزروعة في الخطوط المروية والتي تعلق

في المياه مقاومة أكبر بكثير من معامل مانتق n الذي يساوي ٠,٠٤ المعطى في الجدول رقم (١٤,٤). ومرة أخرى يمكن استخدام مشاهدات الحقل للتقدم والانحسار لتحديد ما إذا كانت تقديرات التصميم مناسبة لمعامل مانتق n.

الجدول رقم (١٤,٤). قيم معامل مانتق n الموصى بها.

المصدر	n	ظروف الاستخدام
USDA (1974, 1984)	٠,٠٤	أسطح وخطوط تربة جرداء وملساء
USDA (1974, 1984)	٠,١٠	محاصيل الحبوب الصغيرة المبذورة إذا كانت صفوف البذر تجري في اتجاه تدفق المياه والتموجات
USDA (1974)	٠,١٥	البرسيم – الحبوب الصغيرة المنثورة
كليمنس (١٩٩١)	٠,٢٠	البرسيم الكثيف أو البرسيم في الحقول الطويلة مع عدم وجود قنوات ثانوية
USDA (1974)	٠,٢٥	محاصيل المروج الكثيف والحبوب الصغيرة المبذورة بشكل عمودي على التدفق

(١٤,٢,٦) اعتبارات وتوجيهات ممارسات التشغيل

نعلم أن الظروف المفترضة في التصميم لن يتم مصادفتها بالضبط في الممارسة العملية. فمن يقوم بري الحقل الذي يتم ريه بالنظم السطحية سوف يعمل على تكييف حالات تشغيل لمواجهة الاختلافات الناتجة عن الظروف المفترضة. وبالإضافة إلى الاختلافات في التسرب والخشونة، فإن من يقوم بالري يجب أن يتكيف مع التغيرات في معدل التدفق والعمق المستهدف للإضافة. وكثيراً ما يكون معدل التدفق هو المعروف فقط تقريباً والتغيرات في زمن الإضافة ليس من السهل الوصول إليها. وكثيراً ما يستخدم من يقوم بالري المعلومات حول جبهة التيار المتقدم لعمل هذه التعديلات إما في معدل التدفق أو في زمن الإضافة.

وعادةً ما تكون هذه التعديلات قائمة فقط على الخبرة. ولكن مثل هذه الخبرة تستغرق زمناً لتتجمع وفي الغالب لا تترجم الخبرة في أحد أنواع التربة إلى خبرة في نوع آخر. وللمساعدة في هذه العملية يجب أن يأخذ التصميم في اعتباره معايير التشغيل التي

يراد استخدامها إما كتوصيات بعد التصميم أو يتم استخدامها بوضوح في إجراء التصميم للمساعدة في تحديد تخطيط الحقل. وفي أي حدث يمكن أن يحدد تحليل الحساسية ما الذي سوف يحدث إذا قام من يقوم بالري بتشغيل النظام بمعايير التشغيل المحددة عبر مدى من الظروف المحتملة.

(١٤,٢,٧) مناهج التصميم العامة

إن المناهج الموضوعة للتصميم تفترض أن التجارب المتكررة يكون هناك حاجة لها بناءً على الظروف الموجودة، وممارسات الزراعة والري المحلية، وخبرة المصمم. فالإجراءات المقدمة في هذا الفصل تسمح بحساب نتائج الري والأداء لكل محاولة منفردة. والأمر راجع للمصمم بأن يستكشف الخيارات المتعددة للوصول إلى تفضيل التصميم النهائي. وتسمح الطرق المعروضة هنا للمرء بحساب منحنيات التقدم والانحسار، وتوزيع المياه المتسربة، ومقدار التسرب العميق، والجريان السطحي، إذا أمكن تطبيقه. ويفترض المنهج أن المصمم يعرف دالة التسرب في التربة. وإذا لم يكن التسرب معروفاً على نحو جيد أو إذا تغير عبر الموسم فإن المصمم يكون مسئولاً عن تقييم آثار التغيرات في التسرب على التصميم والتشغيل. وهذا يقع خارج نطاق هذا الفصل.

وتفترض إجراءات التصميم أن العمق المتسرب أثناء حدث ري بعينه يكون معروفاً من قبل المصمم. وهذا العمق المطلوب من التسرب يمكن أن يختلف باختلاف المحاصيل ويمكن أن يتغير عبر الموسم. وإنها مسئولية المصمم أن يأخذ هذا في الاعتبار أثناء عملية التصميم.

ويقوم التصميم النمطي على افتراض أن أحد أطراف الحقل أو غيره سوف يتسلم أقل عمق متسرب. وبالتالي يتم تعديل وقت التدفق والإضافة بحيث يتم تسرب العمق المطلوب عند هذا الموقع. ويصبح زمن تسرب العمق المطلوب τ_{req} ، معامل تصميم هاماً. وبشكل تقليدي يكون له تأثير أكبر على التصميم عن ثوابت التسرب نفسها. ويتم تعريف زمن فرصة التسرب عند أي موقع x ، على امتداد طول المجرى $\tau_{opp}(x)$ ، على أنه الزمن بين التقدم $t_A(x)$ ، والانحسار $t_R(x)$ أو:

$$\tau_{opp}(x) = t_R(x) - t_A(x) \quad (١٤,٩)$$

وإذا كان أدنى عمق عند طرف رأس الحقل $(x = 0)$ ، فإن زمن فرصة التسرب عند هذه النقطة يساوي زمن الانحسار، أو:

$$\tau_{opp}(0) = t_R(0) = t_{co} + t_{lag} \quad (١٤,١٠)$$

حيث إن t_{co} زمن قطع التدفق أو زمن الإضافة، و t_{lag} زمن تأخر الانحسار، أو الزمن المطلوب لعمق المياه عند طرف بداية السريان لينخفض إلى الصفر بعد قطع التدفق. إن التصميم القائم على تلبية المطلوب عند طرف بداية السريان لا يتطلب حساب منحنيات التقدم والانحسار. ولكن يكون من المطلوب تقدير PE_{min} ، سوياً مع طريقة تقدير زمن تأخر الانحسار (USDA, 1974).

وفي حالة النظم جيدة التصميم، يكون أدنى عمق بشكل نمطي عند طرف نهاية السريان من الحقل، الأبعد عن مصدر المياه $(x = L)$. ثم يجب بعد هذا حساب منحنيات التقدم والانحسار، وتقدير معدل التدفق والزمن المطلوب لتحقيق τ_{req} يكون أكثر صعوبة. وعلى وجه التحديد:

$$t_R(L) = t_A(L) + \tau_{req} \quad (١٤,١١)$$

وتعد الحلول الدقيقة للتقدم والانحسار ممكنة مع حل معادلات سانت فينانت للاستمرارية وكمية الحركة، ولكن هذا الحل يتطلب التحليل العددي ويتم القيام به على أساس كل حالة منفردة، وهذا لا ينتج بشكل مباشر معادلات عامة للتقدم والانحسار. ويكون زمن القطع:

$$t_{co} = t_A(L) + \tau_{req} - [t_R(L) - t_R(0) - t_{lag}] \quad (١٤,١٢)$$

حيث إن الحد الذي يوجد بين الأقواس هو الزمن بين قطع التدفق والانحسار عند طرف نهاية السريان، والذي من المفترض أحياناً أن يساوي الصفر (مثل الخطوط المائلة مع الجريان السطحي). وفي هذا الفصل نقوم بتوفير طرق تصميم قائمة على تلبية أدنى عمق عند طرف خلف السريان.

(١٤,٢,٨) طريقة الحجم السطحي المفترض

يجب أن تقوم كل طرق التصميم باستخدام الخطوات التي تعمل على تحقيق اتزان الحجم، بغض النظر عن كم هي معقدة. وفي هذا الفصل نضع افتراضات تتعلق بالحجم السطحي كي يتم استخدام اتزان الحجم لتحديد منحنى التقدم، ولهذا مزايا على المعادلات العملية بشكل صارم حيث إن الافتراضات التي تتعلق بالحجم السطحي يمكن التحقق منها من مشاهدات الحقل أو من محاكاة الحاسب الآلي.

وأثناء التقدم، يكون الحجم المتسرب التراكمي مساوياً للفرق بين حجم التدفق المتراكم وحجم التخزين السطحي عند هذا الزمن. ويمكن التعبير عن علاقة اتزان الحجم هذه كما يلي:

$$V_{in}(t) = V_y(t) + V_Z(t) \quad (١٤,١٣)$$

حيث إن $V_{in}(t)$ حجم التدفق عند الزمن t، و $V_y(t)$ حجم التخزين السطحي عند زمن t، و $V_Z(t)$ الحجم المتسرب عند زمن t. واستخدام هذه العلاقة لتحديد زمن التقدم، t_x، إلى مسافة x يتطلب أن تكون الأحجام السطحية وتحت السطحية عند أي زمن أثناء التقدم معلومة، وبشكل نمطي يتم وضع المعادلة رقم (١٤,١٣) في الصورة:

$$Q_{in} t_x = \sigma_y A_0(t_x)x + \sigma_Z W_Z(t_x)x \quad (١٤,١٤)$$

حيث إن $A_0(t)$ مساحة مقطع التدفق العرضية عند المدخل عند زمن t، و σ_y معامل شكل التخزين السطحي، و W العرض، و z العمق المتسرب، و σ_z معامل

الشكل تحت السطحي (وكل الوحدات بالمتر والثانية). ومعامل الشكل السطحي هو النسبة بين متوسط مساحة مقطع التدفق العرضية ومتوسط المساحة عند بداية الحقل. وبالنسبة للخطوط فإنه يتراوح بشكل نمطي بين ٠,٧٠ و ٠,٨٠.

إن معامل الشكل تحت السطحي هو النسبة بين متوسط مساحة المقطع المتسرب (العمق المتسرب مضروباً في العرض)، ومساحة المقطع المتسرب (العمق مضروباً في العرض) عند رأس الحقل. وعندما يتم تحديد التسرب عن طريق المعادلة رقم (١٤,٥) يكون من الصعب تحديد معامل الشكل تحت السطحي. ويكون من السهل إعادة كتابة الحجم تحت السطحي في الشكل التالي:

$$V_z = W\left(c + \sigma_{z1} k t_x^a + \frac{h}{1+h} b t_x\right) x \qquad (١٤,١٥)$$

حيث إن h الأس في معادلة التقدم:

$$t_x = s\, x^h \qquad (١٤,١٦)$$

حيث إن s ثابت. إذن يمكن إيجاد σ_{z1} من (ASAE, 1991):

$$\sigma_{z1} = \frac{h + a(h-1) + 1}{(1+a)(1+h)} \qquad (١٤,١٧)$$

ويتطلب تحديد منحنى التقدم معرفة كل من Q_{in} ، وA_0 ، وσ_y ، وثوابت التسرب (c ، و k ، و a ، و b)، والعرض. ومازال تحديد هذا المنحنى عملية تكرارية حيث إن هناك علاقة متداخلة بين الأس h وأزمنة التقدم والتي يجب حلها على الفور.

إن المشكلة الرئيسة مع تحديد التقدم من المعادلات من رقم (١٤,١٤) حتى رقم (١٤,١٧) هي أن A_0 ، وσ_y ليست معروفة بشكل عام. وبالنسبة للميول شديدة الانحدار، فإن هذه الطريقة تكون معقولة بدرجة جيدة، حيث إنه بعد فترة قصيرة من الزمن، يكون الحجم السطحي بشكل نمطي مقداراً صغيراً من حجم التدفق الكلي.

وأيضاً يمكن افتراض أن A_0 تساوي مساحة التدفق عند العمق الطبيعي ويمكن تقدير σ_y بدقة كافية. وبالنسبة للميول متوسطة الانحدار، يكون الحجم السطحي في الغالب جزءًا كبيراً من الحجم المتدفق، حتى عند وقت قطع التدفق. وكذلك تتغير A_0 باستمرار أثناء حدث الري وفي بعض الحالات لا تصل أبداً إلى العمق الطبيعي على أساس وحدة العرض، $A_0 = y_0 W$ (انظر الفصل الثالث عشر). وبالمثل يمكن أن تختلف σ_y (انظر الفصل الثالث عشر).

(١٤,٢,٩) منهج المحاكاة

إحدى طرق التحديد الأكثر دقة للتقدم تكون عن طريق محاكاتها مع معادلات التدفق غير الثابت، مثلاً، مع برامج المحاكاة SIRMOD (Walker, 1989) أو SRFR (Strelkoff, 1990). ويمكن إيجاد الانحسار إما من الحل المستمر للمعادلات، أو من افتراض أن الانحسار يحدث في نفس الوقت في كل مكان. وقد تم استخدام المنهج الأخير في برامج تصميم الأحواض المستوية، BASCAD (Boonstra and Juriens, 1988)، وسوف يبحث BASCAD خلال معاملات المدخل المتعددة التي تصل إلى حل مفيد. وهي لا تسمح بـ PE_{min} كمدخل للتصميم، ولكنها تعرضه كمخرج تصميم. ويمكن كذلك استخدام برامج محاكاة التدفق غير الثابت من خلال المحاولة والخطأ من قبل المستخدم للوصول إلى حل التصميم.

(١٤,٢,١٠) منهج التحليل البعدي

بسبب العدد الكبير للمتغيرات المتضمنة في الري السطحي، فمن المستحيل بشكل افتراضي عرض نتائج المحاكاة لمدى كبير من ظروف الحقل المحتملة. وقد تم استخدام طرق التحليل البعدي لتقليل عدد المعاملات بحيث يمكن عرض نتائج لها على عدد محدد من الأشكال البيانية. وقد تم تطويرها في حالة الأحواض المستوية المزروعة بشكل مسطح وخطوط الشرائح المائلة مفتوحة الطرف، وتكون متاحة في شكل برامج الحاسب BASIN (Clemmens *et al.*, 1995) وBORDER (Strelkoff *et al.*, 1996). وليست هناك حلول لابعدية متاحة حالياً بالنسبة للخطوط. وهذه المنهجية معروضة ببعض التفصيل في الفصل الثالث عشر.

(١٤,٣) ري الخطوط المائلة

في ري الخطوط المائلة لابد أن يكون تقدم المياه سريعاً بدرجة كافية بحيث تتسلم نهاية السريان كمية كافية من المياه بينما لا يتم ري بداية السريان بشكل مفرط. ولكن التقدم بالغ السرعة يمكن أن يؤدي إلى نسبة كبيرة من الجريان السطحي للمياه المضافة إلى الحقل، مالم يتم تقليل التدفق بعد اكتمال التقدم، على سبيل المثال بنظام تخفيض المعدل، أو الدفق، أو التثبيت بالمراس، أو أن يتم جمع الجريان السطحي لأجل إعادة الاستخدام.

وقد قامت هيئة المحافظة على التربة (USDA, 1984) بتوفير الدليل التالي لتحديد الانجراف المستحث بالري للخطوط. فميل الخطوط في المناطق التي يتساقط فيها المطر بكمية كبيرة يجب أن يكون كبيراً بشكل كاف لتسمح بالصرف الكافي (أكبر من ٠,٠٣٪)، ومع هذا يجب ألا تكون كبيرة جداً بحيث تتسبب في حدوث انجراف شديد. بالنسبة لأنواع التربة القابلة للانجراف (مثل التربة الغرينية) يجب أن يكون أقصى ميل للخطوط محدوداً بالقيمة $60/(P_{30})^{1.3}$ ، حيث P_{30} مقدار المطر المتساقط لمدة ٣٠ دقيقة مقاساً بالمليمتر متكرر عبر سنتين. ويمكن أن يتم تجاوز هذا الحد بحوالي ٢٥٪ لأنواع التربة التي لها قابلية أقل للانجراف (مثل التربة الرملية والتربة الطينية). والأكثر أهمية يمكن تقيد الانجراف عن طريق وضع حد لحجم مجرى الري. ويجب أن تكون أقصى سرعة للتدفق محدودة من ٨ إلى ١٣ م/دقيقة للتربة القابلة للانجراف وغير القابلة على الترتيب. ويمكن الحصول على العلاقة بين السرعة ومعدل التدفق من المعادلة رقم (١٤,٧) حيث تكون السرعة هي معدل التدفق Q ، مقسوماً على مساحة التدفق A .

(١٤,٣,١) تصميم ري الخطوط المائلة مع عدم خفض التدفق أو إعادة استخدام المياه الخارجة من الحقل

يعد تصميم الخطوط المائلة مع الجريان السطحي أمراً مباشراً جداً في ظل الافتراضات التالية. أولاً: يمكن حساب التقدم من المعادلة رقم (١٤,١٣)، أو من المعادلة رقم (١٤,٤)، والتي تعطي تقديراً دقيقاً لأزمنة التقدم عندما يتم القيام بتقدير

جيد لمعامل شكل الحجم السطحي. ثانياً: يمكننا أن نفترض أن عمق التدفق عند نهاية أمام السريان بالنسبة لفترة التدفق بأكملها وميل الاحتكاك تساوي ميل القاع، $S_f = S_0$. وتعد هذه الافتراضات مناسبة بشكل خاص للميول التي تزيد عن ٠,٠٥٪. بعد هذا، من المفترض أن يحدث الانحسار فوراً على امتداد طول الخط بأكمله بعد القطع بالنسبة لميل الخطوط الأكثر انحداراً، والتي يزيد ميلها على وجه التحديد عن ٠,٥٪. وبالنسبة للمنحدرات الأكثر تسطيحاً، سوف يأخذ الانحسار عند نهاية خلف السريان بعض الوقت، مما يؤدي إلى عمق تسرب أعلى هناك وتوقع أقل لقيمة PE_a. ويتم القيام بعمل تعديل لمنحنى زمن الإضافة والانحسار بناءً على الحجم السطحي عند اكتمال التقدم.

وأخيراً، يفترض منهج التصميم هذا أن العرض المبلل لا يختلف عبر طول الخط، بمعنى، أن الحجم المتسرب عبر وحدة الطول من الخط يعتمد فقط على زمن فرصة التسرب وليس على عمق التدفق أو العرض المبلل. وبالنسبة لأنواع التربة الثقيلة، يمكن أن يتسبب العرض المبلل في تقليل كبير في الامتزاز الجانبي، والعرض المبلل من تداخل الخطوط المتجاورة، مما يجعل العرض المبلل لكل خط بشكل حتمي يساوي تباعد الخط. وبالنسبة لأنواع التربة الخشنة يمكن أن يسبب العرض المبلل تقليلاً كبيراً في التسرب على امتداد الخط نتيجة للتقليل في عمق التدفق بتناقص معدل التدفق مع المسافة من طرف رأس الحقل. وبالنسبة لهذه الحالة الأخيرة لا يجب أن يحاول تصميم الحقل تقليل الجريان السطحي طالما أن هذا سوف يعمل بشكل خطير على تقليل معدلات التدفق في الخطوط تجاه نهاية خلف السريان. وهناك قياسات أخرى (مثل تدفق العودة) يكون هناك حاجة لها لتحسين الأداء في تلك الحالات.

إن التصميم وفقاً لمجموعة محددة من ظروف الحقل (أي من التسرب، والخشونة، وعمق التسرب المطلوب) من الضروري أن يتم القيام به عن طريق المحاولة والخطأ بالنسبة لطول الخط، وميله، ومعدل التدفق. ويجب أن يتم تحديد مساحة مقطع الخط والمحيط الخارجي المبلل كدالة في عمق التدفق (أي العمق الطبيعي). ويمكن أن تكون أي دالة مفيدة بفرض أن تقوم على نحو صحيح بوصف القطاع العرضي. وتعد

دالة الأشكال شبه المنحرفة والدالة الأسية شائعتي الاستخدام. ثم يمكن إيجاد العمق الطبيعي لتصرف ما عن طريق المحاولة الخطأ من المعادلة رقم (١٤,٧). ثم يتم حساب مساحة التدفق عند نهاية أمام السريان A_0 ، من تحديد القطاع العرضي. وحيث إن هذا لا يتغير أثناء التدفق ، فيمكن حساب الحجم السطحي كدالة في المسافة فقط.

وتوفر طريقة الحجم السطحي المفترض العلاقة بين مسافة التقدم x وزمن التقدم t_x من المعادلة رقم (١٤,١٤)، حيث W تباعد الخط ، بافتراض أن Q_{in} ، و W ، و A_0 ، و σ_z قيم ثابتة. ولحسن الحظ ، في معظم حالات الدراسة لا تتغير σ_y بشكل كبير، وهي تتراوح بشكل عام بين ٠,٧ و ٠,٨. ولكن يمكن أن تتغير σ_z بدرجة كبيرة ولابد من تعديلها طبقاً للحالة المحددة للدراسة. وبالنسبة لدالة التسرب الأسية ، فإنه يمكن تقديرها من المعادلة رقم (١٤,١٧)، والتي تتطلب دالة تقدم أسية (المعادلة رقم ١٤,١٦). ويتطلب تقدير الأس h في المعادلة رقم (١٤,١٦) أن يتم تقدير على الأقل نقطتين على منحنى التقدم.

ويبدأ إجراء التصميم بالقيام بتقديرات الزمن للمجرى المائي المتقدم ليصل إلى نصف طول الحقل والطول الكلي للحقل. ومن هاتين الحالتين ، يمكن حساب أس التقدم من :

$$h = \frac{\log(t_{L/2} / t_L)}{\log(1/2)} \qquad (١٤,١٨)$$

وباستخدام المعادلتين رقم (١٤,١٥)، ورقم (١٤,١٧)، يمكننا حساب الحجم تحت السطحي. ويمكن عندئذ القيام بتقدير توقع جديد لأزمنة التقدم من اتزان الحجم (مثلاً، المعادلة رقم ١٤,١٤) ويتم حساب القيم الجديدة للأس h. ويتقارب الإجراء بسرعة كبيرة. وهناك إجراء بديل أسرع حسابياً بالنسبة لجداول العمل لتقدير قيمة h ، يسمح بتكرار جدول العمل على الزمن لتحقيق اتزان الحجم عند كلتا المسافتين بشكل مستقل وبالتكرار يدوياً على h إلى أن يتقارب.

ولتوفير العمق المطلوب عند نهاية خلف السريان، يتم حساب زمن القطع من المعادلة رقم (١٤,١٢) بافتراض أن الحد الأخير (داخل الأقواس) يساوي الصفر. ويتم حساب كفاءة الإضافة على أنها تساوي الحجم المطلوب (العمق المطلوب × تباعد الخط × طول الخط) مقسوماً على العمق المضاف (معدل التدفق × زمن القطع).

ويمكن تقدير حجم الجريان السطحي عن طريق حساب توزيع الأعماق المتسربة، والحجم المتسرب المرتبط بها، وطرح هذا الحجم من حجم التدفق. ويعد حجم التسرب العميق هو الحجم المتسرب ناقص الحجم المطلوب، حيث إنه من المفترض أن كل النقاط تتسلم على الأقل العمق المطلوب. ويمكن حساب العمق المتسرب من الأعماق المتسربة عند بداية، ووسط، ونهاية الحقل، حيث تكون أزمنة فرصة التسرب معروفة في هذه الأماكن (أي، أن من المفترض حدوث الجريان السطحي عند القطع). ويمكن القيام بتقديرات أفضل عن طريق التكامل العددي الأقرب، على سبيل المثال عن طريق حساب النقاط الإضافية على امتداد منحنى التقدم.

مثال رقم ١: حقل طوله ٤٠٠ م وميله ٠,٠٠٢، ويوصف التسرب بأنه (بناءً على عرض يساوي المسافة بين الخطوط ١ م) a تساوي ٠,٣٥ و k تساوي ٤٠ مم/ساعة^{a}، ومعاملماننق للخشونة مقداره ٠,٠٥. (يمكن أن يكون للخطوط الممهدة بعناية والمضغوطة معامل خشونة قدره ٠,٠٣). تباعد الخط يساوي ١ م وشكل الخط محدد بأنه شبه منحرف مع عرض قاع قدره ١٠٠ مم وميل جانبي ١ : ٢، الأفقي إلى الرأسي. وسوف يتم القيام بالتصميم الأولي لعمق مطلوب قدره ٨٠ مم. وزمن فرصة التسرب المطلوب يساوي ٤٣٥ دقيقة.

ويبدأ مثال التصميم هذا بافتراض معدل تدفق يساوي ١,٠ لتر/ث. ويعطي الحل التكراري للمعادلة رقم (١٤,٧) عمقاً طبيعياً قدره ٥٣ مم، ومحيطاً خارجياً مبللاً قدره ٣٣٨ مم، وسرعة قدرها ٥,٥ م/دقيقة (والتي تقع ضمن المدى المقبول)، معدل تدفق لوحدة العرض عند المنبع يساوي ٠,٠١١ م^{2}.

وبالنسبة للخطوط المائلة، فنحن نفترض أن عمق الماء عند المنبع يصل إلى العمق الطبيعي بشكل أسرع ويبقى هكذا. إذن لا يكون الحجم السطحي أثناء التقدم دالة في الزمن، و$V_y(t)$ تصبح $V_y(x)$. وإذا افترضنا أن σ_y تساوي ٠,٧٥، إذن من حد V_y في المعادلة (١٤,١٤)، نحصل على حجم سطحي قدره ١,٦٥ و ٣,٢٩ م[٣] للتقدم لمسافة ٢٠٠ و ٤٠٠ م، على الترتيب (مثلاً، $1.65 = 0.75\times0.011\times200$).

ويبدأ إجراء التصميم بافتراض زمن التقدم إلى منتصف طول الحقل وإلى نهاية الحقل. وبالنسبة لهذا المثال، فنحن نفترض اختيارياً ١٠٠ و ٢٥٠ دقيقة، على الترتيب. وفي حالة معدل تدفق قدره ١ لتر/ث، فإن هذا يمثل أحجام تدفق ٦,٠ و ١٥,٠ م[٣]. ومن المعادلة رقم (١٤,١٨)، نحصل على قيمة h تساوي ١,٣٢. ومع قيمة h تساوي ١,٣٢ وقيمة a تساوي ٠,٣٥، فإن المعادلة رقم (١٤,١٧) تعطي σ_z تساوي ٠,٧٧٧ (لاحظ أنه بالنسبة لمعادلة كوستيكوف تكون σ_z هي نفسها σ_{z1}). وتكون الأعماق المتسربة عند بداية الحقل عند أزمنة ١٠٠ و ٢٥٠ دقيقة هي ٤٧,٨ و٦٥,٩مم، على الترتيب. وبالتعويض عن هذه القيم في حد V_z في المعادلة رقم (١٤,١٤)، نحصل على أحجام تحت سطحية قدرها ٧,٤٣ و ٢٠,٤٨ م[٣] عند هذين الزمنين، على الترتيب.

وعند زمن ١٠٠ دقيقة، يكون إجمالي الأحجام السطحية وتحت السطحية هو ١,٦٥ + ٧,٤٣ = ٩,٠٨، والذي يكون أكبر بكثير من حجم التدفق الذي يساوي ٦,٠. وبالتالي فإن زمن التقدم إلى مسافة ٢٠٠ م يجب أن يكون أطول بكثير. وبالمثل، فعند زمن ٢٥٠ دقيقة يكون V_{in} يساوي ١٥,٠ م[٣] وهو أقل من قيمة $V_y + V_z$ التي تساوي ٢٣,٧٧ م[٣]. وإذا قمنا بتعديل أزمنة التقدم لإزالة الخطأ في الحجم، فإن تخميننا التالي لأزمنة التقدم سيكون ١٠٠×(٦,٠/٩,٠٨) = ١٥١ دقيقة، و٢٥٠ × (١٥,٠/٢٣,٧٧) = ٣٩٦ دقيقة على الترتيب.

وإذا قمنا بتكرار الحسابات، نحصل على h تساوي ١,٣٩، و σ_z تساوي ٠,٧٨٣، و V_{in} تساوي ٨,٢٥ و ٢٤,٢٥، و $V_y + V_z$ تساوي ١٠,٣٠ و ٢٧,٥٥، بالنسبة لموقعي التقدم الاثنين، على الترتيب. وبشكل واضح، يعد هذا التعديل الخطي صغيراً جداً. وهذا يرجع إلى حقيقة أن العمق المتسرب يتغير أيضاً مع التغير في الزمن. ومن هذه النقطة، إذا ما أخذنا معامل تصحيح ١,٥ فإننا نحصل على أزمنة تقدم ١٨١ و ٤٩٠ دقيقة، ونحصل على h تساوي ١,٤٤، و σ_z تساوي ٠,٧٨٧، و V_{in} تساوي ٩,٢٧ و٢٦,٢٧، و $V_y + V_z$ تساوي ١٠,٩٢ و ٢٩,٥٦، للوصول إلى موقعي التقدم، على الترتيب. ومرة أخرى من الواضح أن التصحيح غير كافٍ، ولكنه اقترب أكثر.

إن حل التقدم يتقارب أخيراً كما هو موضح في الجدول رقم (١٤,٥). ويكون زمن القطع يساوي ٤٩٤ + ٤٣٥ = ٩٢٩ دقيقة (١٥,٥ ساعة). ويكون الحجم المطلوب يساوي ٤٠٠م × ١م × ٠,٠٨٠م = ٣٢ م^3، وفي حين أن الحجم المضاف يساوي ٠,٠٠١٠ م^3/ث × ٩٢٩ دقيقة × ٦٠ ث/دقيقة = ٥٥,٧ م^3، وهذا يعطي كفاءة إضافة قدرها ٥٥,٧/٣٢ = ٥٧,٤ ٪. ويمكن استخدام طريقة الحجم السطحي المفترضة لحساب زمن التقدم إلى مواقع متوسطة. إن أزمنة التقدم من علاقة تقدم الدالة الأسية المشتقة من طريقة النقطتين عادةً لا تتوافق تماماً مع اتزان الحجم، ولكن يمكن استخدامها كتخمين أولي جيد لزمن التقدم. وإذا استخدمنا قيمة أس التقدم h من طريقة النقطتين، فإن أزمنة التقدم المحسوبة عند النقاط المتوسطة تكون موضحة في الجدول رقم (١٤,٦).

الجدول رقم (١٤,٥). حسابات التقدم في حالة مثال تصميم الخطوط المائلة للحجم السطحي المفترض.

$V_z(t)$ (م^3)	σ_z	h	$V_y(t)$ (م^3)	A_0 (مم)	$V_{in}(t)$ (م^3)	t_x (دقيقة)	X (م)	Q (لتر/ث)
٩,٢٩	٠,٧٨٧	١,٤٤	١,٦٥	٠,٠١١	١٠,٩٤	١٨٢,٣	٢٠٠	١,٠
٢٦,٣٥	٠,٧٨٧	١,٤٤	٣,٢٩	٠,٠١١	٢٩,٦٤	٤٩٤,٠	٤٠٠	١,٠

الجدول رقم (١٤,٦). التقدم والانحسار في حالة مثال تصميم الخطوط المائلة (Q_{in} = 1 L/s) ، مع تعـديل أزمنة الانحسار.

المسافة (م)	زمن التقدم (دقيقة)	زمن الانحسار (دقيقة)	زمن فرصة التسرب (دقيقة)	العمق المتسرب (دقيقة)
٠	٠	٨٧٤	٨٧٤	١٠٢
٥٠	٢٥	٨٨١	٨٥٦	١٠١
١٠٠	٦٧	٨٨٨	٨٢٠	١٠٠
١٥٠	١٢١	٨٩٤	٧٧٤	٩٨
٢٠٠	١٨٢	٩٠١	٧١٩	٩٥
٢٥٠	٢٥١	٩٠٨	٦٥٧	٩٢
٣٠٠	٣٢٧	٩١٥	٥٨٠	٨٩
٣٥٠	٤٠٨	٩٢٢	٥١٤	٨٥
٤٠٠	٤٩٤	٩٢٩	٤٣٥	٨٠

وإذا افترضنا أن الانحسار يحدث في كل مكان عند زمن القطع ، فإن الأعماق المتسربة عند بداية ، ووسط ، ونهاية الحقل هي ١٠٤ ، ٩٧ ، ٨٠ مم على الترتيب. ويعطي التكامل العددي مع القاعدة شبه المنحرفة (أي ، متوسط الأعماق رقمياً عبر المسافتين الفاصلتين) متوسط عمق متسرب يساوي ٩٤,٥ مم وحجماً متسرباً يساوي ٣٧,٨م^{٣}. ويكون حجم الجريان السطحي هو الفرق بين الأحجام المضافة والمتسربة ، أو ٥٥,٧ – ٣٧,٨ = ١٧,٩ م^{٣} أو ما يعادل ٣٢,١٪. ويبلغ حجم التسرب العميق ٣٧,٨ – ٣٢ = ٥,٨ م^{٣} ، أو ما يعادل ١٠,٤ ٪. ويمكن إيجاد تقدير أفضل لهذه الأحجام عن طريق تقسيم الحقل إلى أجزاء متعددة وحساب التقدم إما من اتزان الحجم أو من المعادلة رقم (١٤,١٦) (وهذا الفرق معنوي). وفي هذا المثال ، يتم تقسيم الحقل إلى ثمانية أجزاء (كما هو موضح للتقدم في الجدول رقم (١٤,٦)) للتقدم والانحسار أحجام الجريان السطحي والتسرب العميق التي تساوي ٣١,٧٪ و ١٠,٩٪ (بدلاً من ٣٢,١٪ و١٠,٤٪).

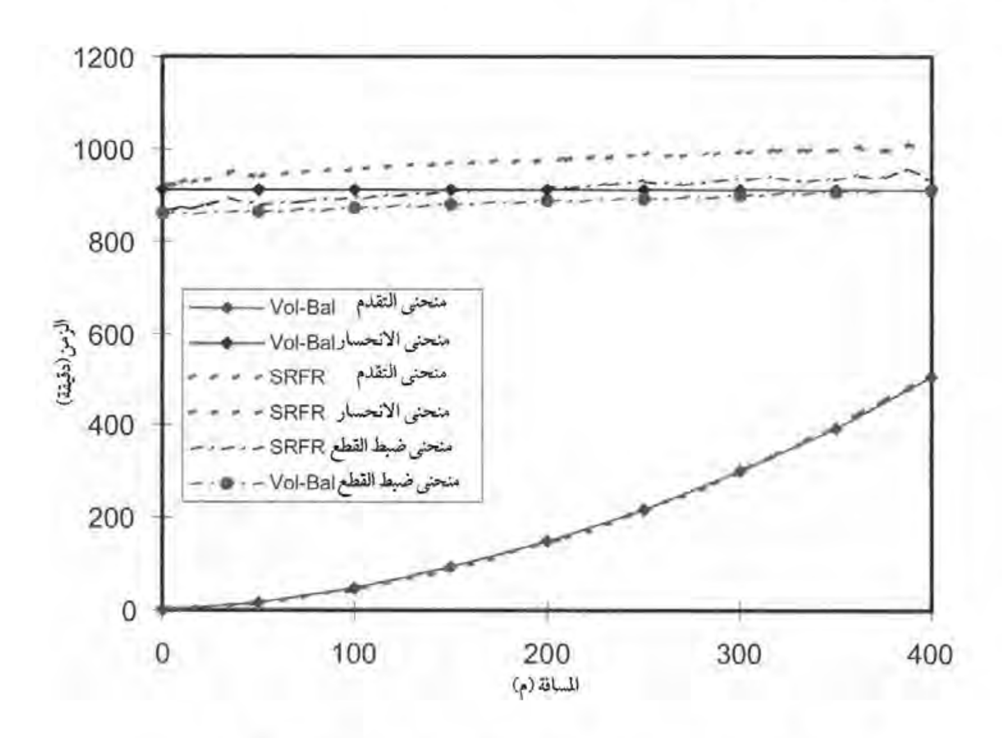
إن الفرضية مع هذه الطريقة هو أن حجم المياه الموجود على السطح عند زمن التوقف يكون كبيراً. وفي هذا المثال، يكون الميل ضحلاً نسبياً ويكون الحجم على السطح عند وقت قطع التدفق من الجدول رقم (١٤,٥) يساوي ٣,٣ م٣، أو ٥,٩٪، وهو ليس حجماً كبيراً. وبمقارنة هذه النتائج مع تلك التي يتم الحصول عليها من المحاكاة، نجد أن الانحسار عند نهاية خلف السريان يستغرق أكثر من ساعة، مما يعني أن بإمكاننا قطع المجرى المائي عند وقت مبكر جداً. ويوضح الشكل رقم (١٤,٢) منحنيات التقدم والانحسار من اتزان الحجم ومن المحاكاة باستخدام برنامج SRFR. ويلاحظ التوافق الممتاز بين منحنيي التقدم، المرتبطين بالحجم السطحي المفترض ومحاكاة التدفق غير الثابت. وكان حجما الجريان السطحي والتسرب العميق المحسوبان هما ٢٩,٤٪ و١٣,٣٪، على الترتيب. وبالنسبة لهذا الميل المتوسط نسبياً، فإن تأثير منحنى الانحسار يكون كبيراً كما يعكسه التحول في أحجام الجريان السطحي والتسرب العميق.

ويمكن القيام بتعديل منحنى الانحسار عن طريق طرح حجم المياه على السطح عند زمن القطع من الحجم الكلي المضاف. ويمكن عند هذا إيجاد زمن الإضافة من:

$$t_{co} = t_A(L) + \tau_{req} - \left(\frac{V_y(L)}{Q_{in}}\right) \qquad (١٤,١٩)$$

حيث إن $V_y(L)$ الحجم السطحي في الحالة الثابتة بالنسبة لمعدل التدفق الحادث بعد اكتمال التقدم. ولأجل الموافقة، فنحن نقوم باستخدام الحجم السطحي المحسوب عندما يكتمل التقدم تماماً. ومن المفترض أن يكون زمن الانحسار عند نهاية خلف السريان t_{co} وزمن فرصة التسرب عند نهاية خلف السريان مساويين τ_{req}. وهذا يؤدي إلى زمن قطع تدفق قدره ٨٥٦ دقيقة (١٤,٣ ساعة)، وحجم مضاف قدره ٥٥,٧ − ٣,٣ = ٥٣,٤م٣، وكفاءة إضافة قدرها ٦١,٠٪. وهنا يكون منحنى الانحسار أفقياً، ولكن من المفترض أن يكون خطياً بين نهايتي أمام وخلف السريان (انظر الجدول رقم ١٤,٦). وهذا الافتراض، مع حساب التقدم والانحسار عبر ثماني مسافات فاصلة،

يعطي قيمة جريان سطحي وتسرب عميق ٢٨,٣٪ و ١٠,٧٪، على الترتيب. ومن المحاكاة، فإن هذا التصميم يتوافق أكثر مع العمق المطلوب عند نهاية خلف السريان، كما هو موضح في الشكل رقم (١٤,٢)، أكثر من افتراض الانحسار الفوري. وعلاوة على هذا فإن المحاكاة تنتج أحجام جريان سطحي وتسرب عميق قدرها ٢٦,٩٪ و ١٢,٢٪، على الترتيب. ويتضح أن حجم التدفق يمكن تقليله أكثر حتى من الحجم الموجود على السطح. ولكن هذا الإجراء البسيط يوفر نتائج منطقية وتقع بوجه عام على الجانب المحافظ. وبالنسبة للخطوط التي لها ميل أكثر انحداراً فإن هذا التعديل سوف يكون صغيراً وغير ضروري.



الشكل رقم (١٤,٢). منحنيات التقدم والانحسار للخطوط المائلة للمثال التصميمي.

ومع وجود نسبة جريان سطحي أكبر بكثير من نسبة التقطير العميق، فإن المرء يتوقع كفاءة إضافة أعلى محتملة في وجود معدل تدفق أصغر. وبإعادة هذه الحسابات عند ٠,٧ لتر/ث تنتج كفاءة إضافة قدرها ٦٤,٤٪، وزمن تخلف t_L يساوي ٨٠٨ دقيقة (١٣,٥ ساعة)، وزمن قطع التدفق t_{co} يساوي ١١٨٢ دقيقة (١٩,٧ ساعة)، وجرياناً سطحياً وتسرباً عميقاً قدرهما ١٨,١٪ و ١٧,٥٪، على الترتيب. ونمطياً يتم تقسيم الحقل إلى عدد صحيح من مجموعات الري، والتي يتم عليها تقسيم التدفق الكلي بين الخطوط. وبالتالي لا يكون معدل التدفق في الخط متغيراً باستمرار، ولكن يمكن أن يكون له قيم محددة. ويتم تقسيم الحقل أيضاً إلى عدد صحيح من الأطوال، مما لا يجعل طول الخط أيضاً متغيراً مستمراً للتصميم.

(١٤,٣,٢) تصميم الخطوط المائلة مع خفض التدفق

يمكن في الغالب تحسين كفاءة نظم الري بالخطوط عن طريق خفض معدل التدفق بعد أن تصل المياه إلى نهاية الحقل، ويمكن أن يوفر معدل تدفق مبدئي عالٍ تقدماً سريعاً، وبالتالي زمن فرصة أكثر انتظاماً، في حين أن تقليل مجرى الري سوف يقلل كمية الجريان السطحي. وإذا كان المجرى المنخفض صغيراً جداً لدرجة لا يمكنه التوافق مع التسرب، فإن الانحسار يمكن أن يحدث عند نهاية خلف السريان ويتحرك للخلف نحو الحقل. وبدلاً من تقليل المعدل عند اكتمال التقدم، يمكن في العادة تأخيره حتى يقل التسرب بعض الشيء. وهذا سوف يساعد أيضاً على ضمان أن نهاية خلف السريان تتسلم عمق تدفق كافٍ ومحيطاً خارجياً مبللاً كافياً.

ومن الممارسات الشائعة تخفيض معدل التدفق بحوالي ٥٠٪، وبتقسيم معدل التدفق المخفض على مساحة الحقل المبلل ينتج متوسط معدل التسرب الذي يتوافق مع تخفيض معدل التدفق:

$$\bar{i}_{CB} \leq \frac{Q_{CB}}{WL} \quad (١٤,٢٠)$$

ويمكن حساب متوسط معدل التسرب عند أي زمن بعد اكتمال التقدم من التكامل العددي على المسافة (مثل المسافات الثمانية الفاصلة المذكورة سابقاً). وليس من الممكن القيام بحل تحليلي مباشر لمتوسط معدل التسرب، ولكن يمكن الحصول على تقريب رقمي من خلال تكامل معدل التسرب على المسافة. ويعد التسرب عند أي نقطة وأي زمن دالة في زمن التسرب، أو الزمن الحالي ناقص زمن التقدم. ويعد زمن التقدم دالة في x^h من المعادلة رقم (١٤,١٦). وإذا تم استبدال هذا الحد بمفكوك متسلسل مع إزالة الحدود التي لها أس أعلى (مثل $x^h = 1 + h(x-1)$) فإن التعبير التحليلي عن معدل التسرب المتوسط عبر طول الحقل، يمكن إيجاده، كما يلي:

$$\bar{i}_{CB} \approx b + \frac{akt_{CB}^{(a-1)}}{ah}\left[\left(\left\{\frac{t_{CB}}{t_L}\right\} - 1 + h\right)^a - \left(\left\{\frac{t_{CB}}{t_L}\right\} - 1\right)^a\right] \qquad (١٤,٢١)$$

حيث إن t_{CB} زمن خفض المعدل. ويمكن حساب زمن خفض المعدل اللازم لتحقيق متوسط معدل التسرب الضروري من المعادلة رقم (١٤,٢١) عن طريق المحاولة والخطأ.

ويعد هذا تقديراً محافظاً جداً لزمن خفض المعدل حيث إن تقليل التدفق يؤدي إلى تخزين سطحي أقل في الحقل، وهذا التغير في التخزين السطحي يمكن أن يساهم في التسرب. ويمكن إيجاد التقدير المحافظ للتصحيح في زمن خفض المعدل عن طريق سمة التغير في الحجم السطحي على معدل تخفيض التدفق، والذي يرتبط بمسافة متوسط معدل التسرب من خلال المعادلة رقم (١٤,٢٠). ويكون زمن خفض المعدل الذي تم تعديله هو:

$$t_{CBadj} = t_{CB} - \frac{V_y(Q_{in}) - V_y(Q_{CB})}{Q_{CB}} \qquad (١٤,٢٢)$$

حيث يكون الحجم السطحي بعد اكتمال التقدم الآن دالة فقط في معدل التدفق.

ويتم حساب زمن خفض المعدل طبقاً للمعادلة رقم (١٤,١٩)، ولكن مع استبدال الحد $V_y(Q_{in})$ بالحد $V_y(Q_{CB})$. ولأن حجماً أقل يوجد على السطح أثناء خفض المعدل، فإن زمن خفض المعدل يكون أكبر بقليل. وبالنسبة لبعض أنواع التربة فإن التقليل في المحيط الخارجي المبلل الذي يسببه تخفيض المعدل ربما يتطلب زيادة في زمن الإضافة الكلي.

مثال رقم ٢: عند تخفيض معدل تدفق بمقدار ٥٠٪ بما يساوي ٠,٥ لتر/ث، فإن المعادلة رقم (١٤,٢٠) توضح أن متوسط معدل التسرب سوف يكون بحاجة إلى أن يصبح أقل من ٤,٥ مم/ساعة:

$$\frac{0.5\,\text{L/s}}{400\,\text{m}\times 1\text{m}}\times\frac{3600\,\text{sec}}{1\,\text{hr}}\times\frac{1\,\text{m}^3}{1000\,\text{L}}\times\frac{1000\,\text{mm}}{\text{m}}=4.5\,\text{mm/hr}$$

ومن المعادلة رقم (١٤,٢٢)، يكون زمن تخفيض المعدل ٥٨٢ دقيقة. (الحل بالمحاولة والخطأ مع التكامل العددي لمتوسط معدل التسرب عبر ثماني مسافات فاصلة يعطي t_{CB} تساوي ٦٠٩ دقيقة). إن الحجم السطحي للتدفق المخفض المعدل هو ١,٩٨م^3. وتعطي المعادلة رقم (١٤,٢٢) زمن تخفيض تم تعديله بما يساوي ٥٣٨ دقيقة. ويكون زمن التخفيض الذي تم تعديله من المعادلة رقم (١٤,١٩) مع وضع $V_y(Q_{CB})$ مكان $V_y(L)$ هو ٨٦٣ دقيقة. ويصبح الحجم الكلي المتدفق الآن هو ٤٢,٠ م^3 بدلاً من ٥٥,٧ م^3. وهذا يعطي كفاءة إضافة قدرها ٧٦,١٪. ويتم تقليل الجريان السطحي إلى ٤,٥٣ م^3، أو ١٠,٨٪، في حين يساوي التسرب العميق ١٣,١٪. وتعطي محاكاة برنامج SRFR قيم ٤,٩٪ و ١٤,٤٪، لكل من الجريان السطحي والتسرب العميق، على الترتيب. وقيم زمن التقدم والانحسار وتوزيع المياه المتسربة موضحة في الجدول رقم (١٤,٧).

الجدول رقم (١٤,٧). قيم التقدم والانحسار في حالة الخطوط المائلة مع خفض معـدل التـدفق للمثـال التصميمي $(Q_{in} = 1\ L/s)$.

المسافة (م)	زمن التقدم (دقيقة)	زمن الانحسار (دقيقة)	زمن فرصة التسرب (دقيقة)	العمق المتسرب (مم)
٠	٠	٨٦٣	٨٦٣	١٠٢
٥٠	٢٥	٨٧١	٨٤٥	١٠١
١٠٠	٦٧	٨٧٩	٨١٠	١٠٠
١٥٠	١٢١	٨٨٨	٧٦٧	٩٨
٢٠٠	١٨٢	٨٩٦	٧١٣	٩٥
٢٥٠	٢٥١	٩٠٤	٦٥٤	٩٢
٣٠٠	٣٢٧	٩١٢	٥٨٦	٨٩
٣٥٠	٤٠٨	٩٢١	٥١٣	٨٥
٤٠٠	٤٩٤	٩٢٩	٤٣٥	٨٠

(١٤,٣,٣) تصميم الخطوط المائلة مع إعادة استخدام المياه الخارجة من الحقل

عـادةً مـا يحتـاج الـري بـالخطوط في حالـة الخطـوط المائلـة وجـود بعـض الجريـان السطحي لكي يعمـل علـى تـوفير عمـق المياه عنـد نهاية المصب للحصول على محيط خارجي مبلل كافٍ وحركة مياه جانبية. وخطوات التصميم المستخدمة هنا تتجاهل هذا المستوى من التفصيل ويمكن أحياناً أن تعطي نتائج مضللة، وبشكل خـاص عنـدما يـتم استخدام التـدفقات المخفـضة. ويعمـل إعـادة اسـتخدام الميـاه الخارجـة مـن الحقـل علـى توفير آلية أخرى لتوفير معـدل تـدفق وعمـق ميـاه كـافيين عنـد نهايـة المصب، في الحـين الذي تستمر فيه في تحسين كفاءة الإضافة للخطوط.

ويمكن إعادة استخدام المياه الخارجة من الحقـل في الحقـول الـتي تعـد عنـد نهايـة المصب للحقل الـذي تنـتج منـه الميـاه الخارجـة (مـثلاً إسـقاط الميـاه مـن حقـل إلى آخـر). وبالتبادل، يمكن جمع المياه الخارجة من الحقـل في بركـة تخـزين، ثـم يـتم ضـخها مـرة

أخرى، ويعاد استخدامها على نفس الحقل. إن التحسينات في كفاءة الري الناتجة من إعادة استخدام المياه الخارجة من الحقل تعتمد على نوع النظام، وكمية المياه الخارجة من الحقل التي يعاد استخدامها، وعدد المرات التي يعاد فيها استخدامها.

وقام سولومون وديفيدوف Solomon and Davodoff (1997) بتطوير معادلات لتحديد الكفاءات المدمجة المرتبطة بإعادة استخدام المياه من خلال سلسلة من المناطق. وبالتطبيق على نظم إعادة استخدام المياه الخارجة من الحقل، فإن كفاءة إضافة النظم المتحدة مع إعادة الاستخدام E_{a_RU}، يمكن تقديرها من كفاءة الإضافة من مجموعة ري مفردة من:

$$E_{a_RU} = \frac{E_a}{1-RU\left(\frac{n-1}{n}\right)} \qquad (١٤,٢٣)$$

حيث إن RU الجزء من المياه المضافة التي يعاد استخدامها، و n عدد الوحدات الفرعية التي منها يتم إعادة استخدام المياه. وفي حالة نظام إعادة استخدام متسلسل، تكون n عدد النظم (مثلاً، الحقول الفردية، المزارع، المشروعات، ... إلخ.) التي يتم ريها بشكل متتابع. وفي حالة استخدام نظام إعادة استخدام يعيد إنتاج المياه، تكون n عدداً لانهائياً ويصبح الحد $\frac{(n-1)}{n}$ يساوي الوحدة.

ومع استخدام نظم إعادة الاستخدام التي تعيد إنتاج المياه، يمكن أن يؤدي جزء من الجريان السطحي كبير جداً إلى ضخ مفرط. وحجم المياه التي يتم ضخها أو إعادة إنتاجها V_{RC}، بالنسبة إلى حجم التدفق يمكن تقديره من جزء الجريان السطحي الذي أعيد استخدامه عن طريق:

$$V_{RC} = V_{in}\frac{RU}{1-RU} \qquad (١٤,٢٤)$$

وهناك نوعان رئيسيان من نظم إعادة استخدام الجريان السطحي الذي يعاد إنتاجه، تلك التي تعيد إنتاج الجريان السطحي بمعدل يساوي تقريباً نفس معدل الجريان السطحي، وتلك التي تعيد إنتاجه بمعدل ثابت. ويمتاز نوع معدل الجريان السطحي بأن حجم التخزين يكون منخفضاً. إن الطريقتين المستخدمتين لهذه النظم هما تدوير وإيقاف المضخة على فترات فاصلة قصيرة، الفاصل بالضبط المرتبط بمعدل الجريان السطحي. وإن أقصى معدلات تدوير موصى بها بالنسبة لهذه النظم هي ١٥ دقيقة في كل ساعة. وتعتمد مساحة سطح الحوض المجمع على أقصى معدل جريان سطحي وتقلبات العمق المسموح بها بين الدورات. والطريقة الأخرى لنظم إعادة إنتاج معدل الجريان السطحي تكون من خلال استخدام المضخات متغيرة السرعة (Trout and Kincaid, 1994).

وفي حالة هذه النظم، لابد من إضافة الجريان السطحي إلى حقل آخر أو موقع ري مختلف، أو أن يتم ضخه إلى خزان أكبر عند المنبع (بداية السريان). ولا يُنصح بتدوير المياه مرة أخرى إلى مجرى مورد المياه للحقل الذي يتكون منه هذا الجريان السطحي، مالم تبدأ خطوط أخرى بزيادة تدفق العودة (ASAE, 1977). واستخدام معدل تدفق العودة المتغير لري خطوط إضافية أمر من الصعب إدارته ويعمل على زيادة العمالة، وبالتالي فهو ليس مستحسناً. وتكون مقاييس أحجام الأحواض المجمعة لهذه النظم بعشرات الأمتار المكعبة.

إن الهدف من نظام تدوير التدفق الثابت هو توفير معدل تدفق ثابت لكل الخطوط. ويمكن تحقيق هذا من خلال ضخ المياه من خزان تخزين مياه ليعاد استخدامها وإضافتها إلى مجرى الري الطبيعي من بداية حدث الري. ويجب أن يساوي معدل تدفق العودة حجم تدفقها لمجموعة واحدة ويكون مساوياً تقريباً لحجم الجريان السطحي في مجموعة واحدة. وبعد هذا سوف يكون الخزان تقريباً عند نفس المستوى عند نهاية عملية الري كما كان عند البداية. وهذا يتطلب بالضرورة أن يكون الخزان ممتلئاً عند بداية الري.

وكذلك لابد أن يكون هناك حجم كافٍ مخزون من المياه لتوفير تدفق العودة حتى يتوافق معدل الجريان السطحي من المجموعة الأولى مع معدل الضخ. ومن الممكن أن يكون هذا المخطط التشغيلي عملياً حيث يكون هناك العديد من الحقول التي تتشارك في نفس نظام تدفق العودة والخزان. ولكن في كثير من النظم لا يعد هذا المخطط عملياً.

وبدلا من الابتداء بالخزان ممتلئاً، يمكن استخدام نفس المخطط العام مع كون الخزان فارغاً في البداية. ويمكن القيام بهذا عن طريق تقسيم اتساع المجموعة الأولى إلى جزء يتم ريه بتدفق مورد المياه فقط وجزء يتم ريه بالجزء الذي يعاد استخدامه فقط. ويتم ري الجزء الثاني من المجموعة الأولى بالفعل بعد أن يتم غلق تدفق المورد المائي الرئيس ويتم ريه بتدفق العودة فقط (أي أن يتم نقله إلى نهاية الري ونهاية الحقل). وقد تم اقتراح هذا المخطط في البداية من قبل سترينجهام وحمد Stringham and Hamad (1975).

وبالنسبة لحقل ما (محدد له طول، وعرض، وميل، وتسرب) ومعدل تدفق ما Q_{in}، فإن تصميم هذه النظم يقوم على التوازن بين معاملات ثلاثة: العمق المتسرب المطلوب (مثلاً، المتوسط d_i، أو عمق الربع المنخفض d_{lq})، ومعدل تدفق الخط المنفرد q، وعدد مجموعات الري عبر عرض الحقل N (عدد صحيح). ولا يمكن اختيار هذه المعاملات بشكل مستقل، ولكن يجب ضمان أن حجم الجريان السطحي للمجموعة وحجم تدفق العودة متوافقان تقريباً. وبمجرد تحديد هذه المعاملات الثلاثة، يمكن إيجاد معاملات التصميم الأخرى. ويمكن اختبار عدد من الاتحادات المتبادلة لإيجاد الاتحاد الذي يمكن تشغيله (مثلاً، أقصى فاعلية).

إن عدد المجموعات، ومعدل تدفق الخط المنفرد Q_f، والعلاقة بين معدل تدفق مورد المياه Q_s، ومعدل تدفق العودة أو تدفق المضخة Q_p، لابد أن تتوافق مع:

$$F = N\left(\frac{Q_s}{Q_f} + \frac{Q_p}{Q_f}\right) = N(n_s + n_p) \qquad (١٤,٢٥)$$

حيث إن F العدد الكلي للخطوط في الحقل، و N عدد المجموعات، و n_s و n_p عدد الخطوط في المجموعات التي توجد في مجموعة واحدة يتم ريها بتدفق مورد المياه وبتدفق الضخ المعاد، على الترتيب. ويجب أن يضمن اختيار تدفق العودة أن يكون هناك حجم كاف من الجريان السطحي والذي يتحقق عندما:

$$RO \geq \frac{Q_p}{Q_s + Q_p} \quad \text{أو} \quad Q_p \leq \left(\frac{RO}{1-RO}\right)Q_s \qquad (١٤,٢٦)$$

حيث إن RO جزء الجريان السطحي (أي، الجزء من التدفق الذي يجري سطحياً بالنسبة للخط المتوسط). وإذا لم يتم التوافق مع هذه المعادلة، فربما لا يكون هناك مياه كافية في الخزان لري المجموعة الأخيرة. وعندما يتم تعديل عدم المساواة هذا إلى مساواة، فإن معدل الضخ يكون أقصى معدل ضخ مسموح به Q_{p-max}. وإذا كان معدل الضخ أقل من أقصى معدل مسموح به، فإن جزءًا من حجم الجريان السطحي لن يتم إعادته إلى الحقل. وهنا فإننا نفترض أن هذا الجزء من حجم الجريان السطحي يكون غير مستخدم أو مفقود.

إن حجم الخزان V_R، اللازم لتشغيل مثل هذه النظم هو كمية المياه المطلوبة في الخزان لري آخر مجموعة فقط باستخدام تدفق العودة:

$$V_R \geq Q_p(1-RO)t_{co} \leq Q_s RO t_{co} \qquad (١٤,٢٧)$$

حيث إن t_{co} زمن الإضافة لكل مجموعة. وعندما تكون المعادلة رقم (١٤,٢٦) في حالة تساو، فإن الحجم يساوي حجم الجريان السطحي من المجموعة الأولى، التي يتم ريها بدون استخدام تدفق العودة، ويصير عدم التساوي على الجانب الأيمن من المعادلة رقم (١٤,١٧) تساوياً. لاحظ أن الحجم المطلوب في الخزان عند بداية هذه

المجموعة الأخيرة يكون أقل من الحجم اللازم لري المجموعة الأخيرة. وبالنسبة لهذه المجموعة، يتم إعادة تدوير الجريان السطحي الناتج منها لتوفير الحجم الضروري. ويساوي الفقد في حجم الجريان السطحي الحجم الكلي المضاف مضروباً في الفرق بين جزء الجريان السطحي الفعلي وجزء الجريان السطحي الذي يعاد استخدامه $V_{in}(RO - RU)$.

إن الطريقة المذكورة سابقاً لتحديد منحنيات التقدم والانحسار في الخطوط المائلة يمكن استخدامها لتحديد جزء الجريان السطحي لمعدل تدفق محدد في الخطوط وزمن الإضافة. ويمكن استخدام هذه المعلومة لتحديد ما إذا كانت تتوافق مع عمق التسرب المطلوب والمعادلة رقم (١٤,٢٥)، والمعادلة رقم (١٤,٢٦). ويمكن تعديل كفاءة الإضافة طبقاً للمعادلة رقم (١٤,٢٣) باستخدام $n = \infty$ و$RU = RO(Q_p / Q_{p-max})$، أو جزء ما لتبرير المفقودات في نظام تدفق العودة. وهذا يفترض أن المياه فقط التي يتم ضخها أثناء عملية الري هذه هي التي يعاد استخدامها.

مثال رقم ٣: افترض المعطيات في المثال السابق. وفي هذه الحالة، هناك عدد كلي من الخطوط قدره ٨٠٠ خط (٨٠٠ م في ١ م/خط) ومعدل التدفق المتاح هو ٨٠ لتر/ث. وتعطي المحاولة الأولية عند تدفق ١ لتر/ث/خط منحنيات التقدم والانحسار المبينة في الجدول رقم (١٤,٦) وأن n_s تساوي ٨٠ خط. ومن المعادلة رقم (١٤,٢٦) يبلغ أقصى معدل ضخ لتدفق العودة ٣١,٦ لتر/ث. واختيار Q_p يساوي ٣١,٦ لتر/ث. يؤدي إلى n_p تساوي ٣١,٦ وN تساوي ٧,٢ من (٨٠٠/(٨٠+٣١,٦)) والذي لا تعد عدداً صحيحاً وبهذا لا تكون محتملة. وإذا كان الحل محتملاً، فنحن نحصل على RO تساوي ٢٨,٣٪، وPE_a تساوي ٨٥,١٪ (من المعادلة رقم ١٤,٢٣)، وحجم خزان قدره ١١٨٨ م٣. وإحدى الطرق لجعل هذا الحل محتملاً يكون من خلال اختيار معدل ضخ أصغر. وعند Q_p يساوي ٢٠ لتر/ث ، وn_f تساوي ٢٠، وN تساوي ٨،

وخزان أصغر يكون مطلوباً. ولكن، فإن فقط ٣١,٦/٢٠ أو ٦٣٪ من الجريان السطحي يعاد استخدامه. وإذا تم فقط الأخذ في الاعتبار أن الحجم الذي أعيد استخدامه مفيد، فإن PE_a سوف تنخفض ٧٤,٣٪ مع حجم جريان سطحي مناظر مفقود سوف يكون ٣٤٨٠ م^٣ (الجدول رقم ١٤,٨). وهذا يؤكد على الحاجة إلى التوافق مع عدم المساواة في المعادلة رقم (١٤,٢٦) بأكثر قدر مكن من الاقتراب.

ويمكن القيام بعدد من التعديلات في المتغيرات الأخرى لإنتاج عدد صحيح من المجموعات، مع توافق أفضل مع المعادلة رقم (١٤,٢٦). ويوفر الجدول رقم (١٤,٨) النتائج المترتبة على القيام بتغيير المعاملات المختلفة على PE_a ، و V_R ، و $V_{RO-lost}$. وإذا كان من الممكن زيادة التدفق حتى ٨٢ لتر/ث فإن حلاً محتملاً سوف ينتج (الجدول رقم (١٤,٨) المحاولة رقم ٣). يمكن تغيير عمق الإضافة المستهدف، إما زائداً قليلاً أو منخفضاً قليلاً (المحاولة رقم ٤، والمحاولة رقم ٥). وتعكس الكفاءة الصغرى في المحاولة رقم ٥ الانتظامية الصغرى المرتبطة بالعمق المستهدف المنخفض. أو يمكن تعديل معدل التدفق في الخط المنفرد للوصول إلى حلول معقولة، كما في المحاولة رقم ٦. وفي المحاولة رقم ٧ لم يعمل الانخفاض في معدل التدفق على توفير حل مفيد جداً بدون القيام أيضاً بتغيير العمق المطلوب، كما في المحاولة رقم ٨. إن اختيار أفضل البدائل من بين هذه الحلول والحلول المحتملة الأخرى يجب أن يكون قائماً على الاعتبارات الاقتصادية، كالعمالة، وإنشاء الخزان، وأبنية محطة الضخ، ... إلخ. ويتطلب التشغيل الفعال لهذه النظم التوافق بين الجريان السطحي ومعدل ضخ تدفق العودة. ويمكن استخدام مراقبة حجم الجريان السطحي لضبط مدة استمرار المجموعة و/أو معدل الضخ لضمان الاستخدام الكفء من الجريان السطحي (أي، موازنة المعادلة رقم (١٤,٢٦)).

الجدول رقم (١٤,٨). أمثلة على حلول تصميم نظام استعادة المياه الخارجة من الحقل.

محاولة	Q_s (لتر/ث)	d_{req} (مم)	Q_f (لتر/ث)	t_{co} (دقيقة)	RO (%)	Q_{p_max} (لتر/ث)	Q_p (لتر/ث)	n_s	n_p	N	RU (٪)	PE_a (٪)	T (ساعة)	V_R (م٣)	$V_{RO\text{-}fast}$ (م٣)
١	٨٠	٨٠	١	٨٧٤	٢٨,٣	٣١,٦	٣١,٦	٨٠	٣٢	٧,٢	٢٨,٣	٨٥,١	١٠٤	١١٨٨	٠
٢	٨٠	٨٠	١	٨٧٤	٢٨,٣	٣١,٦	٢٠	٨٠	٢٠	٨	١٧,٩	٧٤,٣	١١٧	٧٥٢	٣٤٨٠
٣	٨٢	٨٠	١	٨٧٤	٢٨,٣	٣٢,٤	٣٢	٨٠	٣٢	٧	٢٨,٠	٨٤,٧	١٠٢	١٢٠٣	٩٦
٤	٨٠	٨٣	١	٩٢٢	٣٠,٤	٣٥,٠	٣٤,٠	٨٠	٣٤	٧	٢٩,٦	٨٥,٢	١٠٨	١٣٠٩	٢٥٦
٥	٨٠	٦٨	١	٧١٣	٢٠,١	٢٠,١	٢٠	٨٠	٢٠	٨	٢٠,٠	٧٩,٥	٩٥	٦٨٤	٢١
٦	٨٠	٨٠	١,٢	٧٢٠	٤١,٨	٤١,٨	٤٠	٦٧	٣٣	٨	٣٢,٨	٨٥,٩	١٠٣	١١٣٥	٥١٠
٧	٨٠	٨٠	٠,٩٧	٨٩٠	٣٠,٢	٣٠,٢	١٧,٦	٨٢	١٨	٨	١٥,٩	٧٣,١	١١٩	٦٨١	٣٩٥٢
٨	٨٠	٨٥	٠,٩٧	٩٧٣	٣٥,٩	٣٥,٩	٣١,٤	٨٢	٣٢	٧	٢٧,١	٨١,٩	١١٤	١٢٦٥	١٢٦٨

(١٤,٤) الري بالشرائح

في حالة الري بالشرائح، تقل كفاءة الإضافة بشكل ملحوظ عندما يكون التقدم سريعاً جداً أو بطيئاً جداً، ومن هنا يكون التصميم بحاجة إلى أن يوفر تخطيطاً بحيث يمكن تعديل معدل التدفق والزمن داخل الموسم لتوفير أداء مرضٍ. وتقوم هيئة المحافظة على التربة (USDA, 1974) بتوفير التوصيات التالية. أقصى معدل تدفق موصى به للحد من الانجراف على المحاصيل الغير نامية على الطبقة العليا من التربة، مثل البرسيم الحجازي والحبوب الصغيرة، يمكن إيجاده من المعادلة:

$$q_{in_{max}} = 0.00018\ S_0^{-0.75} \quad (١٤,٢٨)$$

حيث إن S_0 تقاس بوحدة م/م، و q_{in} تقاس بوحدة م^2/ث. وبالنسبة للمحاصيل المرتفعة على الطبقة العليا من التربة، فإن ضعف هذه القيمة يمكن استخدامه. وقد تم كذلك اقتراح أدنى معدل تدفق بحيث يكون عمق المياه الكافي للانتشار الجانبي هو:

$$q_{in_{min}} = \frac{0.000006\ L\, S_0^{1/2}}{n} \quad (١٤,٢٩)$$

ويتم القيام بممارسة الري لشريط الشريحة على ميول أقل من ٠,٠٥ م/م (٥٪). وفي التربة ناعمة القوام، تكون الميول بشكل نمطي أقل من ٠,٠١ م/م (١٪). ويمكن إيجاد أقصى ميل بناءً على المعايير الموضوعة لأقل عمق تدفق (وتصرف) عن طريق حل المعادلة رقم (١٤,٢٩) بالنسبة إلى S_0. وهذا الحل لا يأخذ في الاعتبار احتمال وجود انجراف.

(١٤,٤,١) تصميم قطاع الشريحة مفتوحة النهاية الطرفية

في حالة قطاع الشريحة القصيرة والمنحدرات الحادة، يمكن أن يكون أدنى عمق متسرب عند طرف بداية قطاع الشريحة. ولكن، أوضح عدد هائل من التجارب باستخدام تصميم برنامج BORDER أنه في معظم الحالات وعند الاقتراب من أقصى كفاءة محتملة، كان أدنى عمق يقع عند نهاية مصب السريان. وحتى عندما وقع أدنى عمق عند طرف منبع السريان، فإن مدى أعماق الربع المنخفض انقسمت بين النهايات العليا والسفلى للشريحة. وبالتالي، فإن التصميم القائم على نهاية مصب السريان يجب أن يعطي نتائج أكثر تناغماً عبر مدى ظروف التصميم النمطية. وحيث إن، بالإضافة إلى ذلك هناك حاجة إلى تقديرات الكفاءة المحتملة، فإن تصميم زمن تأخر الانحسار (أو التصميم القائم على موافقة المتطلبات عند طرف مصب السريان، كما في هيئة المحافظة على التربة (USDA (1974). لا يُنصح به بعد الآن.

ويمكن استخدام إجراءات اتزان الحجم البسيطة لتصميم قطاع الشريحة، كما تم القيام بها في تصميم الخطوط، بافتراض معامل الشكل السطحي. وبالنسبة للشرائح المائلة، بإمكاننا افتراض أن عمق التدفق عند نهاية مصب السريان يقترب من العمق الطبيعي. ويمكن حساب العمق الطبيعي من المعادلة رقم (١٤,٨) مع كون q وحدة معدل التدفق وبوضع S_f مكان ميل القاع S_0. وبحل المعادلة ينتج:

$$y_0 = \frac{q_{in}^{3/5}(n/C_u)^{3/5}}{S_0^{3/10}} \quad (١٤,٣٠)$$

كما مع الخطوط، $V_y = \sigma_y y_0 W$، حيث $\sigma_y \approx 0.7$. والمشكلة المتبقية في حل اتزان الحجم تكون في حساب منحنى الانحسار، حيث يختلف زمن الانحسار مع المسافة.

ويتم وضع زمن الانحسار عند نهاية مصب السريان بحيث يتم تلبية العمق المطلوب تماماً هناك، كما في المعادلة رقم (١٤,١٢). وهناك علاقة عملية مقتبسة من والكر وسكوجيربو Walker and Skogerboe (1987)، يتم استخدامها لحساب زمن قطع التدفق لزمن انحسار مصب السريان المطلوب. ويمكن إيجاد زمن انحسار مصب سريان المطلوب من المعادلة:

$$\Delta t_R = t_R(L) - t_R(0) = \frac{0.666\, n^{0.4757}\, S_y^{0.2074}\, L^{0.6829}}{I^{0.5244}\, S_0^{0.2378}} \qquad (١٤,٣١)$$

حيث تكون كل الوحدات مقاسة بالأمتار والثواني، وتكون S_y هي:

$$S_y = \frac{1}{L}\left[\frac{(q_{in} - IL)n}{S_0^{0.5}}\right]^{0.6} \qquad (١٤,٣٢)$$

و I معدل التسرب (م/ث) عند زمن $t_R(0)$ (ث) الذي يؤخذ متوسطه عبر المسافة. وبالنسبة لدالة التسرب الفرعية بعد نقطة التفرع، فإنها تكون ببساطة b. وبالنسبة لدوال التسرب الأخرى فإنه يمكن تكامل التسرب رقمياً أو تقريبه عن طريق أخذ متوسط القيم عند نهايات مصب ومنبع السريان، $\tau(0) = t_R(0)$ و $\tau(L) = t_R(L) - t_A(L)$. وتعد المعادلة رقم (١٤,٣١) بكل ضرورة مناسبة عملياً لسلسلة من الحسابات التي تتم على الحاسب الآلي عبر اختلاف واسع في الظروف الميدانية. وهي تقوم على تقدير زمن تأخر انحسار مصب السريان (Strelkoff, 1977)، والذي يؤدي إلى زمن قطع التدفق البالغ:

$$t_{co} = t_R(0)s - \frac{y_0 L}{2q_{in}} \qquad (١٤,٣٣)$$

ومن الضروري أن يكون حل المعادلة رقم (١٤,٣١) عن طريق المحاولة والخطأ إذا لم يكن متوسط معدل التسرب ثابتاً (أي باستخدام دالة كوستيكوف الفرعية، ولا يكون هناك حاجة للمحاولة والخطأ).

وفي الحين الذي يكون فيه هناك حاجة لزمن انحسار مصب السريان من المعادلة رقم (١٤,٣١) للإجراء المستخدم هنا لحساب زمن قطع التدفق، إلا أنه لا يعطي تقديراً واقعياً جداً لزمن الانحسار الفعلي عند مصب السريان للمنحدرات الصغيرة. ويمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير زمن انحسار مصب السريان (مقتبسة من Hart *et al.*, 1980):

$$t_R(0) = t_\infty + \frac{q_{in}^{0.2}\ n^{1.2}}{\left[S_0 + \left(\dfrac{0.345\ n\ q_{in}^{0.175}}{\tau_{req}^{0.88}\ S_0^{1/2}}\right)\right]^{1.6}} \qquad (١٤,٣٤)$$

حيث تكون وحدات القياس بالأمتار والثواني. وتعد أزمنة تأخر الانحسار بالنسبة للميول الأكثر حدة بشكل عام صغيرة جداً وأي معادلة تعطي نتائج منطقية. وبالنسبة للميول الأصغر (مثل الأقل من ٠,٠٠٤)، فإن المعادلة رقم (١٤,٣٤) تعطي بشكل عام أفضل تقدير (وبهذا يتم تفضيلها على المعادلة رقم (١٤,٣٣)). والإجراء المعطى سابقاً لحساب أزمنة قطع التدفق يتضح أنه يصلح عبر مدى واسع من الميول حتى لو كان يعطي تقديراً رديئاً لزمن تأخر الانحسار.

وبمجرد حساب منحنيات التقدم والانحسار، يمكن حساب الحجم المتسرب وحجم الجريان السطحي. وتعطي الإجراءات المذكورة سابقاً تقديرات نهايتي منحنى الانحسار. وفي حالة الميول الأكثر حدة، فإن الخط المستقيم يقلل من قيمة الحجم المتسرب ويزيد من قيمة حجم الجريان السطحي. وإذا كان المطلوب القيام بتقدير منحنى الانحسار للميول الأصغر، يمكن استخدام الإجراء التالي.

قم بحساب ميل منحنى الانحسار من :

$$\frac{dt_R}{dx} = \max\left[\frac{3\sigma_y y_n}{q_{in}}, \frac{t_R(L) - t_R(0)}{L}\right] \qquad (١٤,٣٥)$$

مع وجود تقييد بأن زمن الانحسار المحسوب عند أي مسافة لا يتجاوز زمن الانحسار عند نهاية مصب السريان. والحد الثاني داخل الأقواس في المعادلة رقم (١٤,٣٥) يمثل خطاً مستقيماً تماماً بين زمن الانحسار $t_R(L)$ ، التي يتم حسابها من المعادلة رقم (١٤,١٢)، و $t_R(0)$ ، التي يتم حسابها من المعادلة رقم (١٤,٣١) والمعادلة رقم (١٤,٣٢). ويفترض الحد الأول أن الانحسار يتقدم بمعدل يعمل على نقل الحجم السطحي ، خطياً ، عند ثلث معدل التدفق.

مثال رقم ٤ : افترض نفس الظروف التي وردت في مثال تصميم الخطوط المائلة ، ولكن مع أخذ دالة التسرب من الجدول رقم (١٤,٣)، مع k تساوي ٤٠,١ مم/ساعة^a، و a تساوي ٠,٥١ . وباستخدام دالة التسرب هذه يكون زمن فرصة التسرب المطلوب لتسريب ٨٠ مم هو ٢٣٢ دقيقة. والتحديدات الأخرى هي معامل مانتق n يساوي ٠,١٥ ، و σ_y تساوي ٠,٧٥ ، و q يساوي ٢,٥ لتر/ث. وبوجود ميل قدره ٠,٠٠٢ م/م تكون أقصى وأقل معدلات تدفق موصى بها من المعادلة رقم (١٤,٢٨)، والمعادلة رقم (١٤,٢٩) هما ١٩ لتر/ث و ٠,٧ لتر/ث ، على الترتيب. ويتم استخدام نفس طريقة الحجم السطحي المفترض لحساب التقدم ، كما هو موضح في الجدول رقم (١٤,٩).

الجدول رقم (١٤,٩). حسابات التقدم لمثال تصميم خطوط الشرائح بالحجم السطحي المفترض.

Q (لتر/ث/م)	X (م)	t_x (دقيقة)	$V_{in}(t)$ (م^3/م)	y_0 (مم)	$V_y(t)$ (م^3/م)	h	σ_z	$V_z(t)$ (م^3/م)
٢,٥	٢٠٠	١٠٨,٦	١٦,٢٩	٥٦,٨	٨,٥٢	١,٣٨	٠,٧١٦	٧,٧٧
٢,٥	٤٠٠	٢٨٢,٠	٤٢,٣٠	٥٦,٨	١٧,٠٣	١,٣٨	٠,٧١٦	٢٥,٢٨

ويبلغ زمن الانحسار المطلوب عند نهاية مصب السريان من المعادلة رقم (١٤,١١) $t_R(L)$ يساوي ٢٣٢ + ٢٨٢ = ٥١٤ دقيقة. ويتم حساب زمن قطع التدفق من المعادلات رقم (١٤,٣١) إلى رقم (١٤,٣٣) كما يلي. ابدأ بافتراض أن $t_R(0)s$ تساوي ٥١٤ دقيقة. ثم قم بحساب معدل التسرب عند نهاية مصب السريان من الحقل مع $\tau_{opp}(L)$ تساوي ٢٣٢ دقيقة من المعادلة رقم (١٤,٤)، و $I(L)$ يساوي ١٠,٥ مم/ساعة (أو ٢,٩٣×١٠$^{-٦}$ م/ث). ثم قم بتقدير معدل التسرب عند نهاية منبع السريان الذي يساوي معدل التسرب عند $t_R(0)s$ من المعادلة رقم (١٤,٤)، و $I(0)$ يساوي ٧,١٤ مم/ساعة (أو ١,٩٨×١٠$^{-٦}$ م/ث). بعد ذلك قم بحساب S_y من المعادلة رقم (١٤,٣٢) (مع I يساوي ٢,٤٥×١٠$^{-٦}$ م/ث)، كما يلي:

$$S_y = \frac{\left[\left(0.025\,m^2/s - 2.45\times10^{-6}\,m/s\times400\,m\right)0.15\right]^{0.6}}{400\,m\times0.002^{0.3}} = 0.000105$$

ومن هذا قم بحساب زمن انحسار مصب السريان من المعادلة رقم (١٤,٣١) كما يلي:

$$t_R(0)s = 514 - \frac{0.666\times0.15^{0.47565}\times0.000105^{0.20735}\times400^{0.6829}}{\left(2.45\times10^{-6}\right)^{0.52435}\quad S_0^{0.23782}}\frac{1\ min}{60\ sec}$$

$$= 514\ min\text{-}150\ min = 364\ min$$

والذي يختلف عن القيمة التي افترضناها. ونقوم بإعادة حساب متوسط معدل التسرب مع $\tau(0)$ يساوي ٣٦٤ دقيقة و $\tau(L)$ يساوي ٣٦٤ - ٢٨٢ = ٨٢ دقيقة، مما يعطينا ٨,٥ مم/ساعة و ١٧,٦ مم/ساعة، بمتوسط ١٣,٠ مم/ساعة (أو ٣,٦١×١٠$^{-٦}$ م/ث). ثم نقوم بإعادة حساب S_y و $t_R(0)s$، إلى أن تتقارب القيم. ويكون الحل النهائي I يساوي ١١,٩ مم/ساعة، و S_y يساوي ٠,٠٠٠٠٩٠٣، و $t_R(0)s$ يساوي ٣٨٦ دقيقة. (وإذا قمنا بتكامل معدل التسرب عبر ثماني مسافات فاصلة، يكون الحل النهائي $t_R(0)s$ يساوي ٣٧٦ دقيقة).

وفي هذه التكرارات، فإن فقط متوسط معدل التسرب يتغير. وتفترض الطريقة أن الانحسار يبدأ عند نهاية منبع السريان بعد اكتمال التقدم. وإن لم تكن تلك هي الحالة، فإن التسرب عند نهاية مصب السريان يساوي الصفر.

ويتم حساب زمن قطع التدفق من المعادلة رقم (١٤,٣٣) كما يلي:

$$t_{co} = 386\,\text{min} - \frac{400\,\text{m} \times 0.0568\,\text{m}}{20.0025\,\text{m}^2/\text{s}} \times \frac{1\,\text{min}}{60\,\text{sec}} = 386 - 76 = 310\,\text{min}$$

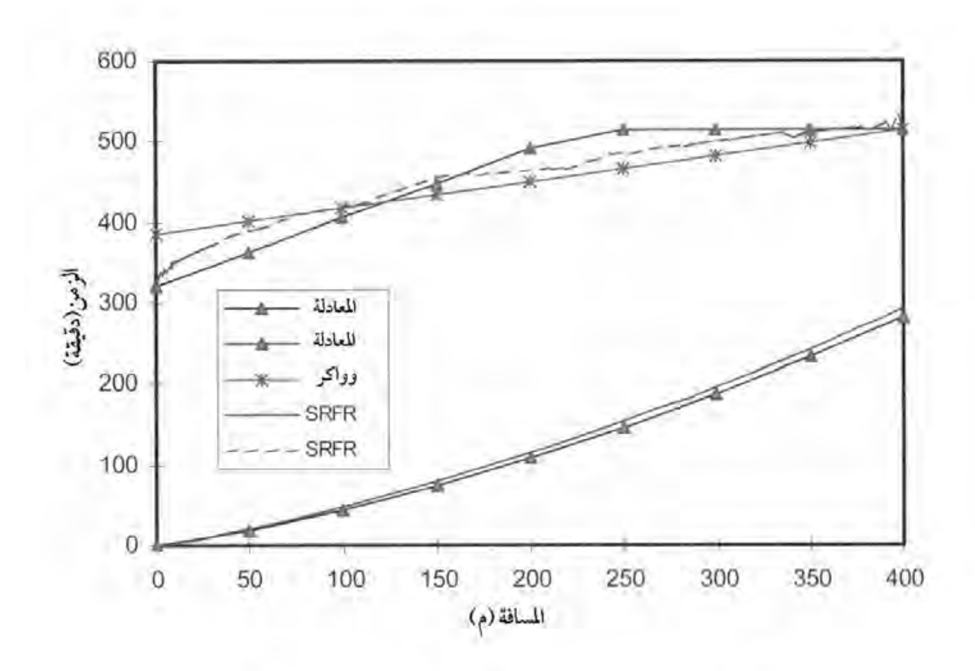
ويمكن إيجاد زمن انحسار منبع السريان من المعادلة رقم (١٤,٣٤)، كما يلي:

$$t_R(0) = 310 + \frac{0.0025^{0.2} \times 0.15^{1.2}}{\left[0.002 + \left(\frac{0.345 \times 0.15 \times 0.0025^{0.175}}{(232 \times 60)^{0.88} \times 0.002^{1/2}}\right)\right]^{1.6}} \times \frac{1\,\text{min}}{60\,\text{sec}}$$

$$= 310 + 10 = 320\,\text{min}$$

ويوضح الشكل رقم (١٤,٣) منحنيات التقدم والانحسار لهذا المثال. وتكون منحنيات التقدم لتقدم الحجم السطحي المفترض متوافقة بشكل وثيق مع التقدم من محاكاة التدفق غير الثابت (مثل، SRFR). ويمكن توقع الانحسار عند نهاية مصب السريان عن طريق المعادلة رقم (١٤,٣١) والمعادلة رقم (١٤,٣٢). ويمكن توقع زمن الانحسار عند نهاية أمام السريان على نحو جيد عن طريق المعادلة رقم (١٤,٣٤)، ولكن لا يتم التنبؤ بمنحنى الانحسار نفسه على نحو جيد. وباستخدام الخط المستقيم من زمن تأخر الانحسار من المعادلة رقم (١٤,٣٣) (أي الذي اقترحه وواكر) إلى زمن انحسار مصب السريان فإنه يتوافق مع المنحنى إلى حد كبير فيما عدا عند نهاية منبع السريان. وتعد المعادلتان رقم (١٤,٣٤)، ورقم (١٤,٣٥) مناسبتين لهذا المثال،

ولكنهما لا تكونان ملائمتين لظروف أخرى. وإذا كان الفرق في زمن انحسار منبع السريان الذي تم حسابه باستخدام الطريقتين أقل من ١٠٪ إلى ١٥٪، فلتقم باستخدام الخط المستقيم المبسط، وإلا سيكون لابد من حساب منحنى الانحسار.



الشكل رقم (١٤,٣). منحنيات التقدم والانحسار لمثال تصميم الشريحة.

ويبلغ الحجم المضاف لهذا المثال ٤٦,٦ م^3/م، بينما يبلغ الحجم المطلوب ٣٢م^3/م، مما يعطي كفاءة إضافة قدرها ٦٨,٧٪ (٤٦,٦/٣٢). وإن استخدام المعادلتين رقم (١٤,٣٤)، ورقم (١٤,٣٥) لأجل التقدم والانحسار اللذين تم حسابهما عبر ثماني مسافات فاصلة (الجدول رقم ١٤,١٠) قد أدى إلى نسب من التسرب العميق والجريان السطحي مقدراها ١٤,٤٪ و ١٦,٩٪، على الترتيب. (وقد أدى المنهج المبسط

الذي وضعه وواكر إلى نسب قدرها ١٣,٣٪ و ١٨٪ مقابل هذه النسب المحسوبة). وقد أعطت محاكاة التدفق الغير ثابت مع زمن قطع التدفق الذي يبلغ ٣١٢ دقيقة هذه النسب المماثلة للتسرب العميق والجريان السطحي، ومع هذا فحتى مع إضافة القليل جداً من المياه، لم يتم تلبية العمق المطلوب بشكل تام عند نهاية مصب السريان (كانت E_a تساوي ٦٨,٤٪ وأدنى عمق كان يساوي تقريباً ٧٩ مم). وكلا الإجراءين ينتجان نتائج معقولة في معظم الحالات.

الجدول رقم (١٤,١٠). التقدم والانحسار في حالة مثل تصميم الشريحة.

المسافة (م)	زمن التقدم (دقيقة)	زمن الانحسار (دقيقة)	زمن فرصة التسرب (دقيقة)	العمق المتسرب (مم)
٠	٠	٣٢١	٣٢١	٩٤
٥٠	٢٠	٣٦٣	٣٤٤	٩٨
١٠٠	٤٥	٤٠٦	٣٦١	١٠٠
١٥٠	٧٥	٤٤٨	٣٧٤	١٠٢
٢٠٠	١٠٩	٤٩١	٣٨٢	١٠٣
٢٥٠	١٤٦	٥١٤	٣٦٨	١٠١
٣٠٠	١٨٨	٥١٤	٣٢٦	٩٥
٢٥٠	٢٣٣	٥١٤	٢٨١	٨٨
٤٠٠	٢٨٢	٥١٤	٢٣٢	٨٠

(١٤,٤,٢) تصميم الشريحة مغلقة النهاية الطرفية

يمكن الحصول على تحسينات في كفاءة الإضافة من خلال غلق نهاية مصب السريان من قطاع الشريحة، ويجب القيام بهذا فقط حيث لن تسبب المياه التي كونت بركة وزمن التسرب المتعلق بها تلفاً للمحصول. وللحد من تلف المحصول، يتم غلق

النهاية الطرفية جزئياً للحد من عمق بركة المياه الأقصى (مثلاً، عن طريق ارتفاع الانسكاب الزائد) أو أقصى زمن لتكون بركة المياه (مثلاً، عن طريق ترك شق في حاجز الغلق لتسمح بتصريفها في النهاية).

وحيثما يتم احتواء كل الجريان السطحي، فمن الممكن توزيع كل المياه المتسربة عن طريق افتراض أن الحجم الذي انساب قد كوّن بركة عند نهاية مصب السريان. ويتم حساب التقدم، والانحسار، وتوزيع الأعماق المتسربة كما هي في حالة قطاعات الشريحة مفتوحة الطرف، ثم يتم إضافة عمق المياه التي كونت بركة إلى العمق المتسرب عند كل موقع. ويمكن إيجاد طول البركة من:

$$L_p = \sqrt{\frac{2V_{RO}}{S_0}} \qquad (١٤,٣٦)$$

حيث إن V_{RO} حجم الجريان السطحي. ويكون عمق المياه التي كونت بركة يساوي صفراً عند مسافة قدرها L_p من نهاية مصب السريان ويساوي S_0L_p عند نهاية مصب السريان.

وفي إجراءات التصميم الخاصة بهيئة المحافظة على التربة (USDA, 1974)، يتم ضبط طول الحقل لتبرير تكون البركة. وفي إجراء التصميم هذا يتم ضبط زمن قطع التدفق عن طريق المحاولة والخطأ، إلى أن يتوافق أدنى عمق مع العمق المطلوب. وسوف يحدث هذا إما عند نهاية منبع السريان أو عند مسافة L_p من نهاية مصب السريان.

مثال رقم ٥: بالنسبة للمثال المعطى سابقاً، يبلغ حجم الجريان السطحي ٧,٧٩ م^٣/م. ومن المعادلة رقم (١٤,٣٦)، يبلغ طول تكوّن البركة ٨٨,٣ م، أو ٣١١,٧ م من نهاية مصب السريان. ويبلغ العمق الإضافي لتكوّن البركة عند نهاية مصب السريان ١١٧

مم. وعن طريق الاستكمال القياسي من الجدول رقم (١٤,١٠)، يبلغ العمق المتسرب عند هذه النقطة ٩٤ مم، وهو أكبر بكثير من ٨٠ مم وهو العمق المطلوب. وبالتالي يمكن القيام بتقليل كبير في زمن الإضافة. والمنهج الأبسط للقيام بهذا يكون عن طريق تقليل زمن الانحسار عند نهاية مصب السريان بالنسبة لتصميم الطرف المفتوح. وإذا كان التقليل متناسباً مع أدنى عمق، فإن التقليل في زمن الإضافة سوف يبلغ تقريباً ٤٦دقيقة (٣١٠ دقيقة × (٩٤-٨٠)/٩٤ = ٤٦ دقيقة). ويتم تقليل زمن الانحسار المطلوب عند نهاية مصب السريان من ٥١٤ دقيقة إلى ٤٦٨ دقيقة. ولابد الآن من إعادة حساب زمن الانحسار عند نهايات منبع السريان، كما هو مذكور سابقاً، باستخدام الحل $s(0)\ t_R$ يساوي ٣٥٢ دقيقة، و t_∞ يساوي ٢٧٧ دقيقة، و $(0)\ t_R$ يساوي ٢٨٧ دقيقة. ويبلغ حجم الجريان السطحي الآن ٥,١١ م^3/م، مما يؤدي إلى أدنى عمق لتكوّن البركة عند ٧١,٥ م، ويكون أدنى عمق متسرب هناك قدره ٨٤ مم. وفي هذه الحالة، يظل أدنى عمق عند نهاية أمام السريان من قطاع تكوّن البركة. وفي حالات أخرى سوف يكون عند نهاية منبع السريان من الحقل.

وبعد عديد من التكرارات، يتوافق أدنى عمق مع متطلب تقليل زمن فرصة التسرب في مصب السريان مفتوح الطرف بمقدار ٦٢ دقيقة، مع الحل $s(0)\ t_R$ يساوي ٣٤٢ دقيقة، و t_∞ يساوي ٢٦٦ دقيقة، وV_{RO} يساوي ٤,٣٣ م^3/م، وL_p يساوي ٦٥,٨م. والجدول رقم (١٤,١١) موضح به التوزيع النهائي للمياه المتسربة. ويمنح العمق المتسرب الكبير جداً عند نهاية مصب السريان، ٢٠٠ مم، الاقتراح بأن الميل في هذا الحقل يمكن أن يكون شديد الانحدار في حالة تكون البركة التام. بينما تبلغ كفاءة الإضافة في هذه الحالة ٨٠,٢٪، ومن الممكن أن يكون هذا العمق الكبير لتكون البركة غير مقبول.

الجدول رقم (١٤,١١). التقدم والانحسار في حالة مثل تصميم الشريحة التي تكوّنت فيها بركة مياه.

المسافة (م)	زمن التقدم (دقيقة)	زمن الانحسار مفتوح الطرف (دقيقة)	زمن الفرصة مفتوح الطرف (دقيقة)	العمق المتسرب مفتوح الطرف (مم)	العمق المتسرب الذي كوّن بركة (مم)
٠	٠	٢٧٦	٢٧٦	٨٧	٨٧
٥٠	١٦	٣١٨	٣٠٢	٩١	٩١
١٠٠	٤٢	٣٦١	٣١٩	٩٤	٩٤
١٥٠	٧٣	٤٠٤	٣٣١	٩٦	٩٦
٢٠٠	١٠٩	٤٤٦	٣٣٨	٩٧	٩٧
٢٥٠	١٤٨	٤٥٢	٣٠٥	٩٢	٩٢
٣٠٠	١٩٠	٤٥٢	٢٦٣	٨٥	٨٥
٣٣٤	٢٢٠	٤٥٢	٢٣٢	٨٠	٨٠
٣٥٠	٢٣٥	٤٥٢	٢١٨	٧٧	١٠٩
٤٠٠	٢٨٢	٤٥٢	١٧٠	٦٨	٢٠٠

(١٤,٥) ري الأحواض المستوية والخطوط المستوية

مع ري الأحواض المستوية، فإن التقدم السريع سوف ينتج انتظامية عالية. ويقوم تصميم نظم الري بالأحواض على توفير التقدم السريع، ولكن بدون إضافة كميات مفرطة من المياه. وحيث إن الحقل يكون مستوياً، فإن انجراف التربة يشكل قلقاً فقط حيثما يتم إضافة المياه إلى الحقل، أي، محلياً. ولا تكون أقصى وأدنى معدلات تدفق محددة، ولكن تمثلهما الظروف الهيدروليكية. ومع الأحواض المستوية، يمكن أن يصبح عمق التدفق كبيراً وبحاجة إلى أن يتم اختباره في التصميم.

(١٤,٥,١) تصميم الأحواض المستوية التي يتم زراعتها بشكل مسطح

قام وواكر وسكوجربو Walker and Skogerboe (1987) بتوفير منهج اتزان حجم مباشر للأحواض المستوية، ومرة أخرى عن طريق افتراض معامل شكل الحجم السطحي. وللقيام بحل معادلة اتزان الحجوم (المعادلتين رقم (١٤,١٣)، ورقم

(١٤,١٤))، قاما بحساب عمق منبع السريان y_0 ، للتقدم لبعض المسافة x من معادلة مانئق من خلال افتراض أن σ_y تساوي ٠,٨ ، ومن خلال افتراض أن :

$$S_f = \frac{y_0}{x} \qquad (١٤,٣٧)$$

وبدمج المعادلتين رقم (١٤,٨)، ورقم (١٤,٣٧) وبالحل لأجل y_0 ينتج عمق التدفق عند نهاية مصب السريان كما يلي :

$$y_0 = \left(q_{in}^2 (n / C_u)^2 x\right)^{3/13} \qquad (١٤,٣٨)$$

وفي حالة معدل تدفق ما ، يمكن إيجاد زمن التقدم بشكل تكراري من :

$$t_L = \frac{V_y(x)}{Q_{in}} + \frac{V_z(x, t_x)}{Q_{in}} \qquad (١٤,٣٩)$$

حيث إن $V_y(L) = \sigma_y y_0 WL$ ، و V_z يمكن إيجادها من المعادلة رقم (١٤,١٥)، مع اعتبار $x = L$ والتي تعد دالة في زمن التقدم. وقد قامت هيئة المحافظة على التربة (SCS) (USDA, 1974) باستخدام منهج مماثل، ولكنها تجاهلت الحد الأخير في المعادلة رقم (١٤,٣٩). ويكون من المطلوب وجود زمنين ومسافتين للتقدم حتى يمكن حساب أس التقدم h ، المرتبط بشكل نمطي بطول الحقل ونصف طوله.

وما يراد حسابه هو t_{co} و PE_{min}. وتفترض SCS العلاقة بين نسبة التقدم، $A_R = t_L / \tau_{req}$ ، و PE_{min} ، ومع هذا الافتراض، فإنها تكون قادرة على تكوين سلسلة من مخططات التصميم (USDA, 1974). والمنحنيات التي تمثل هذه المخططات من قيم PE_{min} كدالة في وحدة معدل التدفق (الإحداثي الصادي) والطول (الإحداثي السيني). ولكن، أوضح كليمنس وديدريك (1981) Clemmens and Dedrick أن PE_{min} تختلف بشكل موسع مع نسبة التقدم، وعلى وجه الخصوص عندما يختلف

أس التسرب عن هذا الذي افترضته عائلات التسرب الخاصة بهيئة المحافظة على التربة SCS. وقد افترض وواكر وسكوجربو Walker and Skogerboe (1987) أنه بعد التقدم، تكون الزيادة في العمق المتسرب عبر الحوض هي نفسها في العمق المطلوب. وهذا يؤدي بالفعل إلى تقدير محافظ جداً لقيمة PE_{min}.

ولكن إذا افترضنا أن الانحسار يحدث عند نفس الزمن عبر الحوض، فيصبح بمقدورنا القيام بتكامل الحجم المتسرب على المسافة. فالحل المباشر غير ممكن، ولكن يمكن الحصول على التقريب عن طريق عرض دالة التقدم الأسية مع المفكوك المتسلسل. وبأخذ الحدين الأولين في المفكوك تنتج المعادلة التالية لحساب الحجم المتسرب النهائي:

$$V_z = LW\left\{c + k\tau_{req}^{a}\frac{\left[(1+hA_R)^{a+1}-1\right]}{hA_R(a+1)} + b\tau_{req}\left(1+\frac{hA_R}{1+h}\right)\right\} \quad (١٤,٤٠)$$

ولكن إذا استخدمنا دالة التسرب الفرعية، فإننا نحصل على حل صحيح، بفرض أن $\tau_{req} > \tau_B$. وتكون المعادلة الناتجة هي:

$$V_z = LW\left\{d_{req} + \frac{bht_A(L)}{(h+1)}\right\} \quad (١٤,٤١)$$

ويتم إيجاد زمن قطع التدفق عن طريق قسمة هذا الحجم على معدل التدفق، Q_{in}. وبالنسبة لكل قيمة صغيرة من AR، لا تعد هذه المعادلة مناسبة، ولكن في مثل هذه الحالات يمكن أن يكون زمن قطع التدفق قائماً فقط على الحجم المطلوب (أي، $PE_{min} = 100\%$).

ويفترض هذا الإجراء أن التقدم يكون مكتملاً قبل قطع التدفق. وبالنسبة للأحواض الكبيرة المستوية التي يتم استخدامها في الولايات المتحدة، فإن هذه لا تكون الحالة في الغالب، وبوجه خاص عندما تكون مقاومة التدفق عالية (مثل، البرسيم الحجازي أو العشب). وأحد أكبر الأخطاء المتعلقة بهذا الإجراء هو أن يكون

الحجم السطحي أثناء التقدم كبيراً. وهذا صحيح بوجه خاص عندما يسبق قطع التدفق اكتمال التقدم.

مثال رقم ٦: إن طريقة الحجم السطحي المفترض المذكورة سابقاً تم تطبيقها على مثال تصميم قطاع الشريحة، ما عدا أن الميل يكون صفراً. (مثل أعماق الإضافة الخفيفة هذه تعد أكثر صعوبة في التطبيق مع الأحواض المستوية ما لم يتم تقليل الحجم بدرجة كبيرة. وتلعب الاختلافات في ارتفاعات سطح الحقل أيضاً دوراً في الكفاءات المحتملة إذا كانت هناك محاولات لإضافة القليل جداً من المياه). ويتم تقليل الطول إلى ٢٠٠ م ومعدل التدفق إلى ٢,٠ لتر/ث.م. يبلغ معامل الشكل السطحي ٠,٨٠. ومنحنى التقدم المحسوب باستخدام طريقة الحجم السطحي المفترض (المعادلتين رقم (١٤,٣٨)، ورقم (١٤,٣٩)) معطى في الجدول رقم (١٤,١٢).

ومن المعادلة رقم (١٤,٤٠)، يبلغ الحجم الكلي المضاف ٢٠,٢٣ م^3، مما يؤدي إلى زمن قطع تدفق قدره ١٦٩ دقيقة و PE_{min} تساوي ٧٩,١٪. وإذا افترضنا أن الانحسار يحدث عند الزمن المطلوب لتسرب العمق المطلوب عند الطرف البعيد ٤٢٨ دقيقة (١٩٥,٤ + ٢٣٢,٤ = ٤٢٨ دقيقة)، وأزمنة فرصة التسرب عند النقاط المختلفة على امتداد الحوض يمكن حسابها عن طريق طرح زمن التقدم من زمن الانحسار هذا، كما هو موضح في الجدول رقم (١٤,١٣). وباستخدام تلك النقاط المحسوبة لتقدير الحجم المتسرب ينتج (مع التكامل العددي للنقاط الثمانية) أن PE_{min} تساوي ٨٠,٥٪، مما يقترح أن المعادلة رقم (١٤,٤٠) تعد تقديراً معقولاً للحجم المطلوب. (وتعطى طريقة وواكر وسكوجربو قيمة PE_{min} تساوي ٦٠,١٪).

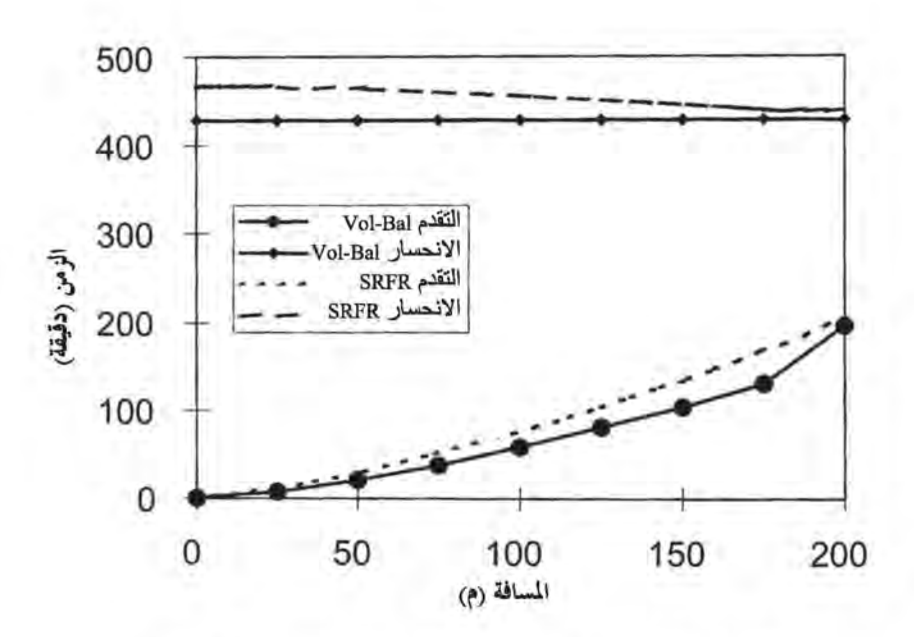
الجدول رقم (١٤,١٢). نتائج تصميم الحوض المستوي بالحجم السطحي المفترض.

Q (لتر/ث.م)	X (م)	t_x (دقيقة)	$V_{in}(t)$ (م^3/م)	y_0 (مم)	$V_y(t)$ (م^3/م)	h	σ_z	$V_z(t)$ (م^3/م)
٢,٠	١٠٠	٧٢,٢	٨,٦٦	٦٨,٥	٥,٤٧	١,٤٤	٠,٧٢٣	٣,١٨
٢,٠	٢٠٠	١٩٥,٤	٢٣,٤٥	٨٠,٤	١٢,٨٦	١,٤٤	٠,٧٢٣	١٠,٥٨

الجدول رقم (١٤,١٣). التقدم والانحسار في الحوض المستوي للمثال التصميمي.

المسافة (م)	زمن التقدم (دقيقة)	زمن الانحسار (دقيقة)	زمن فرصة التسرب (دقيقة)	العمق المتسرب (مم)
٠	٠	٤٢٨	٤٢٨	١٠٩
٢٥	٨	٤٢٨	٤٢٠	١٠٨
٥٠	٢١	٤٢٨	٤٠٧	١٠٦
٧٥	٣٨	٤٢٨	٣٩٠	١٠٤
١٠٠	٥٨	٤٢٨	٣٧٠	١٠١
١٢٥	٨٠	٤٢٨	٣٤٨	٩٨
١٥٠	١٠٤	٤٢٨	٣٢٤	٩٥
١٧٥	١٣١	٤٢٨	٢٩٧	٩١
٢٠٠	١٩٥	٤٢٨	٢٣٢	٨٠

بالنسبة لهذا المثال، يتجاوز زمن التقدم زمن الإضافة. ومن المحتمل أن تعمل طريقة الحجم السطحي المفترض على زيادة تقدير قيمة PE_{min}. ويعطي برنامج التصميم BASIN بالنسبة لمجموعة الظروف هذه أن PE_{min} تساوي ٧٨,٤٪، و t_A (L) يساوي ٢١١ دقيقة، و t_{co} يساوي ١٧٠ دقيقة، وزمن قطع التدفق عند التقدم حتى ٨٨٪ من طول الحوض (R تساوي ٠,٨٨). وهذا قريب للخط المحدد الذي قام بوضعه كليمنس وديدريك Clemmens and Dedrick (1982)، والذي يقع تقريباً عند R تساوي ٠,٨٥ ، وفيما وراء الحد في برنامج التصميم BASCAD. وفي الوقت الذي تكون فيه الاختلافات صغيرة في هذه الحالة (٢٪ تغير في PE_{min})، فإن الأخطاء تزداد بشكل سريع عند حدوث قطع التدفق عند مسافات تقدم أقصر. وهناك مقارنة لمنحنيات التقدم والانحسار بالنسبة لطريقة الحجم السطحي المفترض ومحاكاة التدفق غير الثابت موضحة في الشكل رقم (١٤,٤).



الشكل رقم (١٤,٤). منحنيات التقدم والانحسار لمثال تصميم الحوض المستوي.

(١٤,٥,٢) تصميم الخطوط المستوية والأحواض مستوية الخطوط

يمكن استخدام نفس طريقة الحجم السطحي المفترض في حالة الخطوط المستوية أو الأحواض مستوية القطاع كما قمنا باستخدامها في حالة الأحواض المستوية المزروعة بشكل مسطح، ما عدا أن المعادلة رقم (١٤,٣٨) يتم استبدالها بالمعادلة (من المعادلتين رقم (١٤,٧)، ورقم (١٤,٣٧)):

$$A_0^2\, R_0^{4/3}\, y_0 = q_{in}^2 \left(n / C_u\right)^2 x \qquad (١٤,٤٢)$$

وحيث إن A_0 و R_0 تعدان دالة في y_0 كما تم تحديدها عن طريق الشكل العرضي للخطوط، وتحديد A_0 لحساب اتزان الحجم يكون تكرارياً بدلاً من الحساب

المباشر (أي، أنها تضيف حلقة تكرار داخلي زائدة إلى الإجراء). وفي حين أن إجراءات التصميم للنظامين تكون متماثلة بالضرورة (أي، قائمة على التقدم والانحسار لخط مفرد)، فإن عمليات الحرث والري بالنسبة للخطوط المستوية والأحواض المخططة تكون مختلفة تماماً.

مثال رقم ٧: يتم استخدام ظروف التسرب والخشونة في حالة مثال ري الخطوط المائلة هنا: k تساوي ٤٠ مم/ساعة^a، و a تساوي ٠,٣٥، و n تساوي ٠,٠٥. وتبلغ المسافة بين الخطوط ١ م، وكما في السابق، يبلغ عرض قاع الخط ١٠٠ مم مع ميل جانبي ٢ : ١ (الأفقي : الرأسي). وفي هذه الحالة، فنحن نبدأ التصميم بافتراض وجود ٢ لتر/ث لكل خط وطول ٢٠٠ م.

يبدأ التصميم بالحل للعمق عند نهاية مصب السريان كدالة في المسافة x، من المعادلة رقم (١٤,٤٢). وهذه العلاقة لا تعتمد على زمن التقدم. وعند مسافة قدرها ١٠٠ م، فإننا نقترح عمقاً y_0 قدره ٠,١ م. وفي حالة الشكل شبه المنحرف، فإن هذا يعطي مساحة A_0 قدرها ٠,٠٤٨٥ م^2، ومحيطاً خارجياً مبللاً قدره ٠,٦٩٣٥ م، ونصف قطر هيدروليكي R_0 قدره ٠,٠٦٩٩ م. وبحل المعادلة رقم (١٤,٤٢) بالنسبة للعمق y_0 فإنها تعطي ٠,٠١٤٨ م. وهذا التقدير الجديد لقيمة y_0 لا يوفر قيمة جيدة للتخمين التالي (أي، أن الحل يتباعد). وبدلاً من هذا، فإننا نستخدم ٠,٨ أضعاف التخمين الأصلي زائد ٠,٢ أضعاف القيمة المحسوبة من المعادلة رقم (١٤,٤٢):

$$0.8(0.1)+0.2(0.0148)=0.1091\,\text{m}$$

وبعد ثلاثة تكرارات، فإن الحل يتقارب حتى ٠,٠٨٩١ م. وعند مسافة ٢٠٠م، فإن الحل مع هذا الإجراء يعطي y_0 تساوي ٠,١٠١٢ م.

ويمكن إيجاد الحجم السطحي للتقدم إلى هاتين المسافتين من المعادلة رقم (١٤،١٤)، مع σ_y تساوي ٠,٨٠، على أنه يساوي ١,٩٨٣ م^3 و ٤,٨٩٧ م^3، على الترتيب. وتعد الأحجام تحت السطحية دالة في الزمن وأس التقدم. والتخمينات الأولية

لأزمنة ٦٠ دقيقة و ٢٥٠ دقيقة تعطي h تساوي ١,٣٢ ، ومن المعادلة رقم (١٤,١٥)، يكون الحجم تحت السطحي مساوياً ٣,١٠٧ م^{٣} و ٤,٨٩٧ م^{٣}، على الترتيب. وحجم التدفق الداخل لهذه الأزمنة ٧,٢ م^{٣} و ١٨ م^{٣}، على الترتيب، أو بأخطاء في الحجم بما يصل إلى ٢٠٪. ومن المعادلة رقم (١٤,٣٩)، تكون التقديرات الجديدة لزمن التقدم هي ٤٢ دقيقة و ١٢٢ دقيقة، على الترتيب. ويتقارب الحل في النهاية إلى ٣٩ دقيقة و ١٠٤ دقيقة، على الترتيب، وتكون h تساوي ١,٤١٥ ونسبة التقدم A_0 تساوي ٠,٢٣٩.

ومن المعادلة رقم (١٤,٤٠) مع عمق مستهدف قدره ٨٠ مم، يكون الحجم المتسرب النهائي ١٦,٨٩ م^{٣} والذي يحدث عند زمن قطع تدفق قدره ١٤٠,٧ دقيقة، أو ٣٧ دقيقة تقريباً بعد اكتمال التقدم. وتبلغ كفاءة الإضافة المحتملة في هذه الحالة ٩٤,٧٪. والتكامل العددي مع ثمانية نقاط على منحنى التقدم والانحسار، بافتراض أن الانحسار يحدث عند الزمن اللازم لتسريب ٨٠ مم عند نهاية مصب السريان، يعطي حجماً متسرباً يساوي ١٦,٧٥ م^{٣} وزمن إضافة ١٣٩,٥ دقيقة، وكفاءة إضافة محتملة قدرها ٩٥,٦٪. ومن الواضح في هذه الحالة، أنه يمكن التطبيق على الحوض الأطول أو عمق الإضافة الأصغر. ولابد من استكشاف مزيد من التطبيقات لهذا الإجراء عند أطوال، ومعدلات تدفق في الخطوط، وأعماق إضافة مختلفة للوصول إلى تصميم اقتصادي.

(١٤,٦) الأعمال الرئيسة في نظم الري السطحي وطرق التحكم في التدفق

يتم استخدام الأعمال الرئيسة في نظم الري السطحي لنقل وتوزيع المياه من المصدر المائي إلى مواقع الري المفردة، والخطوط، ... إلخ. وهي توفر وسائل نقل المياه من المصدر المائي إلى الحقل، ولابد أن تكون متوافقة مع كل من نوع المصدر المائي ونوع نظام الري السطحي المستخدم. وهناك نوعان رئيسيان من مصادر المياه: من بئر المياه الجوفية التي يقوم المزارع بتشغيله أو من مقاطعة ري. ويمكن أن يكون مصدر مقاطعة الري من خط أنابيب الضغط أو من قناة مفتوحة أو من خط أنابيب مفتوحة. ويعد التدفق من بئر المياه الجوفية ثابتاً بصورة نمطية ولا يمكن تعديله. أما التدفق من مقاطعة الري مع

القنوات أو خطوط الأنابيب المفتوحة يكون في العادة متغيراً ولا يقع تحت سيطرة من يقوم بالري. والتدفق من خط أنابيب الضغط بمقاطعة الري ربما يكون من الممكن تعديله من قبل من يقوم بالري (مثلاً، عن طريق إضافة ضغط عكسي على المخرج).

وإن أعمال النقل والتوزيع في حقل المزرعة ربما تكون خط أنابيب أو قناة مفتوحة. ويمكن ضخ المياه من المياه الجوفية إلى داخل نظام توزيع خط الحقل أو قناة مفتوحة. وعندما يكون هناك ضاغط كافٍ متاح، يمكن أيضاً أن تقوم المياه من القنوات أو من خطوط الأنابيب المفتوحة بإمداد نظم توزيع أنابيب الحقل (مثلاً، الأنابيب المبوبة). ولكن، يلزم إبقاء الحطام خارج خط الأنابيب حيث إنها يمكن أن تعمل على سد المداخل. وتعد حواجز المصدر المائي المضطرب طريقة فعالة لتحقيق هذا .(Bondurant and Kemper, 1985)

وحيثما يتم استخدام قنوات المزرعة الشرقية، يصبح من الممكن توزيع المياه إلى الخطوط المفردة مع أنابيب سيفونية أو الأنابيب الصغيرة، أو أن يتم توزيعها على الشرائح أو الأحواض من خلال أنابيب سيفونية، أو مخارج الأنابيب (مثل السدادات الكبيرة القابلة للغلق) أو أماكن القطع في جدار القنوات. وبالنسبة للقنوات الخرسانية، فإن خيارات توزيع المياه تشمل أنابيب سيفونية (بالنسبة لكل الطرق)، أو مخارج الأنابيب (بالنسبة للشرائح والأحواض)، أو المخارج مفتوحة البوابة (مثلاً، مع بوابات المدوار). وبالنسبة لنقل وتوزيع أنابيب المزرعة، فإن صمامات البرسيم الحجازي تكون شائعة في حالة الشرائح والأحواض، في حين تكون نظم الأنابيب المبوبة شائعة في حالة الخطوط.

وإن الاختيار من بين هذه البدائل المتنوعة يجب أن يكون قائماً على التوافق مع مصدر المياه وطريقة التحكم فيه في الحقول المروية. ويجب أن تأخذ طرق التحكم في اعتبارها الضاغط المتاح من المياه فوق سطح الحقل، في حين أنه يمكن أن يختلف تبادلياً عبر المزرعة، وبهذا فإن المياه سوف تتدفق لخارج نظام التوزيع إلى مساحة الحقل المطلوب ريها وليس لأي مكان آخر. ويجب أن يكون للنظم بشكل نمطي من ٠,١٥ م إلى ٠,٣٠ م من الضاغط المتاح عند كل نقاط الحقل. ويجب أن تكون المنافذ كذلك غير

قابلة للانجراف. فهذا يمكن أن يشكل مشكلة خطيرة مع الميول شديدة الانحدار وأنواع التربة القابلة للانجراف، أو حيثما يتم استخدام معدلات تدفق عالية جداً (مثلاً، أكبر من ٣٠٠ لتر/ث).

ويجب أن تعمل الأعمال الرئيسة على إمداد الحقول التي ربما تتطلب ري الصفوف والمحاصيل في المزرعة، ومن أمثال هذه الحقول، على سبيل المثال، ممارسة ري كل من الخطوط وقطاعات الشرائح في نفس الحقل. وهذه الابتكارات لا يجب أن تقيد هذه الاحتمالات.

وغالباً ما يتم اختيار طرق العمل الحديثة حسبما تملي الممارسات الشائعة واقتصاديات المنطقة. ولكن عادةً ما يتطلب التحديث أو التحسين في ممارسات الري السطحي تحكماً أفضل في التدفق وربما يقترح بدائل أخرى. من الضروري أن يعمل التحكم في معدل التدفق على المساعدة في توازن منحنيات التقدم والانحسار وللتقليل من الجريان السطحي الذي يتم فقده. وفي بعض الحالات فإن بعض التشغيل الآلي سوف يساعد في تحسين التحكم في المياه.

ولم يتم ممارسة خفض معدل التدفق في ري الخطوط بشكل موسع بسبب العمالة المتضمنة في الحصول على خفض معدل تدفق فعال، وقد تم تطوير العديد من الطرق لتحقيق خفض معدل التدفق آلياً أو شبه آلي، وتم أيضاً تطوير تدفق النبضي في محاولات لتطبيق تقنية التدفق منخفض المعدل في الأنابيب المبوبة. ومع هذه النظم إذا كان قد تم إعداد بوابات الأنبوب لتعطي توزيعاً مطلوباً عند التدفق الكامل (أي أن فتحات البوابات تختلف تبعاً للميل، والعجلات مقابل الصفوف التي لم تمر عليها العجلات، ... إلخ)، فإن التقليل في تدفق الأنبوب إلى النصف لن يعطي لكل خط نصف تدفقه السابق. وعن طريق تدوير التدفق بشكل كامل عند فواصل زمنية قصيرة نسبياً (مثلاً، ١٠ دقائق)، فإنه يتحقق خفض معدل تدفق أكثر فاعلية. إن صمامات النبضي الآلي التي تقوم بتدوير المياه جعلت من تدفق النبضي، وخفض معدل التدفق المرتبط به، طريقة عملية لتحسين أداء الري في الخطوط المائلة.

وتعد طريقة الغلق بالكابلات طريقة أخرى لتحقيق تدفق فعال للمعدل المنخفض. وتحت هذه النظم، يتم وضع الأنبوب المبوبة على ميل منتظم. وتتحرك السدادة بسرعة ثابتة لأسفل خط الأنابيب المبوبة. وعلى الفور لأمام السريان من السدادة، يصبح المنفذ بشكل ضروري ضغطاً كاملاً. ولمزيد من منابع السريان، فإن المنافذ يكون لها ضغط منخفض. وبالسماح للسدادة بالتحرك لمصب السريان، فإن التدفق يقل تدريجياً، وينتج بشكل ضروري خفض منتظم في معدل التدفق. ويمكن أن يتم إنتاج توزيعات تدفق مختلفة عن طريق تدفقات مصدر مائي مختلفة وسرعات سدادة مختلفة (Kincaid, 1984). ويتطلب التشغيل الآلي فقط التحكم في سرعة السدادة. وهذه الطرق ليست شائعة الاستخدام.

وتم اقتراح التدفق مخفض المعدل في البداية من قبل جارتون GArton (1966)، حيث إن السدادات الكبيرة بالنسبة لمجموعات الري البديلة يتم وضعها عند ارتفاع منخفض. وعندما يتم ري المجموعة التالية، يقع عليها ضاغط أقل، مما ينتج التدفق منخفض المعدل، وقد أثبتت هذه الطرق أنها عملية في الحقل جزئياً بسبب القيود الفيزيائية (أي، أنها بحاجة أن يكون لها ميل عرضي صحيح)، وعدم قابليتها النسبية للضبط، وانسداد الأنابيب الصغيرة بالركام. وتم استخدام هدارات الترعة الجانبية أو ممرات القنوات بشكل فعال في بعض المناطق. وحيث يتم عمل الهدارات الصغيرة، واحد لكل خط، عند إنشاء القناة. ويتم التحكم في التدفق إلى مجموعة من الخطوط عن طريق ارتفاع سطح المياه في القناة. وسد القناة يعطي تدفقاً كاملاً. ويمكن الحصول على تدفق منخفض المعدل ويمكن التحكم به من خلال عدم غلق القناة للسماح لمعظم التدفق بالاستمرار حتى مصب السريان، ولكن من خلال الحفاظ على ارتفاع منسوب المياه (مثلاً، من خلال الألواح الفاحصة). وهذا النظام أيضاً يكون أقل عرضة للانسداد بالأعشاب الضارة. وهذه الطرق لم تصبح شائعة الاستخدام بسبب تكاليف الإنشاء. (Eftekharzadeh *et al.*, 1987).

وإن الإدارة المحسنة للشرائح والأحواض عادة ما تتطلب اختيار معدل التدفق السليم وفترة استمراره الصحيحة. ففي حالة ري الأحواض المستوية، ازداد الميل نحو زيادة معدل التدفق إلى تقدم سريع وتقليل تكاليف العمالة. وتصل الأحواض المستوية إلى أحجام كبيرة بما يصل إلى ١٥ هكتاراً مع تدفقات أكبر من ١ م^{٣}/ث. وقد أصبح التحكم في انجراف المنافذ أمراً هاماً في مثل هذه النظم. ومع الشرائح والأحواض ثابتة العرض، فليس من الممكن دائماً الوصول إلى تعديلات في معدل التدفق، مما يجعل التحكم في فترة الاستمرار هو الوسيلة الوحيدة للتحكم في الأداء. وقد تم اقتراح عدد من الطرق للتحكم الآلي في مدة الاستمرار في مثل هذه النظم، ومن بينها التحكم الآلي لبوابات المدوار، ومنافذ الأنابيب، وبوابات السقوط المفتوح أو المغلق داخل مصدر مائي عبارة عن قناة خرسانية مبطنة. ومعظم هذه الطرق تستخدم آلات توقيت بسيطة لنقل المياه من مجموعة إلى أخرى. وقد تم تطوير أجهزة مراقبة الحقل لمراقبة وصول المياه وتسجيل التغير في مجموعة الري (مثلاً، بناءً على مسافة التقدم). وأجهزة المراقبة هذه أيضاً ليست شائعة الاستخدام.

وتم تطوير الصرف الخلفي للأحواض المستوية لتقليل كثير من القيود الناتجة من استخدام الأحواض المستوية الحديثة التقليدية المستخدمة في جنوب غرب أريزونا. ومع هذه النظم يتم وضع القناة الشرقية أسفل تدرج الحقل. وعندما يتم فتح القناة ينقل إمداد المياه خلف الحقل. أسفل ارتفاع سطحه إلى الحقل التالي. وبالإضافة إلى ذلك فإن بعض المياه المضافة تتصرف تماماً وراء الحقل الذي تم ريه، وبالتالي تقلل من العمق المضاف. وتستخدم قناة الصرف كصف منعطف. وهذا النظام يعمل بشكل كبير على تقليل التكاليف اللازمة لإنشاء الحوض المستوي (أي، لا يلزم إنشاء قناة خرسانية)، ما يجعل الوصول إلى إضافات مياه أخف أكثر سهولة، ويضع قيوداً أقل على العمليات الآلية (أي، يمكن للمرء القيادة عبر القنوات من حوض إلى ما الذي يليه) (Dedrick, 1984).

ومؤخراً، تم استخدام نظم مماثلة لري الأحواض المستوية في مناطق تساقط المطر الغزير، بما فيها إنتاج الأرز غير المقشور. ومن الممارسات الشائعة وضع قنوات أسفل التدرج عند واحد إلى ثلاثة جوانب. وهذا يحل محل نظام المتون الكنتورية، في أنه بدلاً من أن تتدفق المياه من متن إلى آخر عبر الحقل، فإن المياه تتدفق في القنوات الجانبية من متن إلى آخر. وهذا يشجع على مزيد من الري الكفء والصرف السطحي الأسرع (Clemmens, 2000).

وتعد الأبنية الرئيسة جانباً هاماً في التصميم حيث إنها تمثل غالباً جزءًا رئيساً من تكاليف تطوير نظام الري السطحي. وإن إجراءات تصميم نظام الري السطحي المعروضة هنا يجب أن تُستخدم بالاشتراك مع التحليل الاقتصادي لكل العوامل التي تؤثر على تكاليف التطوير والتشغيل، ولابد من الأخذ في الاعتبار أيضاً بالضغوط المستقبلية المتعلقة بتقليل المياه المضافة والحماية البيئية. وإن التصاميم التي تسمح بشكل محتمل بتحكم أفضل في المياه تقدم مرونة أكبر لتلبية هذه المتطلبات المتغيرة، ويمكن إيجاد مزيد من التفاصيل حول هذه الاعتبارات في اختيار نظام الري في البحث الذي قدمه بروت وآخرون Brut *et al.* (1999).

المراجع

ASAE. 1991. EP419: Evaluation of furrow irrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 1997. EP408.1: Design and installation of surface irrigation runoff reuse systems. St, Joseph, Mich.: ASAE.

Bondurant, J. A., and W. D. Kemper. 1985. Self-cleaning, non-powered trash screens for small irrigation flows. Trans. ASAE 28(1): 113 -117

Boonstra, J., and M. Jurriens. 1988. BASCAD A Mathematical Model for Level Basin Irrigation. ILRI Publication 43. Wageningen, The Netherlands: Int'l. Inst. for Land Reclamation and Improvement.

Burt, C. M., A. J. Clemmens, R. D. Bliesner, J. L. Merriam, and L. A. Hardy. 1999. Selection of irrigation methods for agriculture. ASCE On-Farm Irrigation Committee Report. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Clemmens, A. J. 1991. Feedback control of a basin irrigation system. J. Irrig. Drain. Eng. 118(3): 480-496.

Clemmens, A. 1. 2000. Level basin irrigation systems: adoption, practices, and the resulting performance. In Proc. 4th Decennial Nat'l Irrigation Symp., 273-282. St.Joseph, Mich.: ASAE.
Clemmens, A. J., and A. R. Dedrick. 1981. Estimating distribution uniformity in level basins. Trans. ASAE 24(5): 177-1180, 1187.
Clemmens, A. J., and A. R. Dedrick. 1982. Limits for practical level-basin design. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 108(1R2): 127-141.
Clemmens, A. J., and A. R. Dedrick. 1994. Chapt. 7: Irrigation techniques and evaluations. In Management of Water Use in Agriculture, 64-103. K. K. Tanji and B. Yaron, eds. Adv. Series in Agricultural Sciences, Vol. 22. Berlin, Germany: Springer- Verlag.
Clemmens, A. J., A. R. Dedrick, and R. J. Strand. 1995. BASIN: A Computer Program for the Design of Level-Basin Irrigation Systems. WCL Report #19. Phoenix, Ariz.: U.S. Water Conservation Lab., USDA-ARS.
Dedrick, A. R. 1984. Water delivery and distribution to level basins. In Water Today and Tomorrow, Proc. Am. Soc. Civ. Eng. conf., 1-8. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
Eftekharzadeh, S., A. J. Clemmens, and D. D. Fangmeier. 1987 Furrow irrigation using canal side weirs. J. Irrig. Drain. Eng. 113(2): 251-265.
FAO. 2005. AQUASTAT online database, FAO's Information System on Water and Agriculture. Food and Agriculture Organization, United Nations, Rome, Italy. Availab le at: www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbaselindex2.jsp.
Garton, J. E. 1966. Designing an automatic cut-back furrow irrigation system. Okla. Agr. Bull. B-651.
Hart, W. E., H. G. Collins, G. Woodward, and A. S. Humpherys. 1980. Chapt. 13: Design and operation of gravity or surface irrigation systems. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems. M. E. Jensen, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.
Hutson, S. S., N. L. Barber, J. F Kenny, K. S. Linsey, D. S. Lumia, and M. A. Maupin. 2004. Estimated Use of Water in the United States in 2000. USGS Circular 1268. Washington, D.C.: USGS.
Kennedy, D. N. 1994. California Water Plan Update. Vol. 1. Sacramento, Calif.: State of Californi a Dept. of Water Resources.
Kincaid, D. C. 1984. Cablegation: V. Dimensionless design relationships. Trans. ASAE 27(3): 769-722.
Merriam, J. L., and A. J. Clemmens. 1985. Time rated infiltrated depth families. In Development and Management Aspects of Irrigation and Drainage, Spec. Conf. Proc., 67-74. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers, Irrig. and Drain. Div.
Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil Science 84: 257-264.
Solomon, K. H., and B. Davidoff. 1997 On the relationship between unit and subunit irrigation performance. Draft copy.

Strelkoff, T. 1977. Algebraic computation of flow in border irrigation. J.Irrig. Drain. Div., ASCE 103(1R3): 357-377.
Strelkoff, T. 1990. SRFR: A Computer Program for Simulating Flow in Surface Irrigation Furrows-Basins-Borders. WCL Report 17 Phoenix, Ariz.: U.S. Water Conservation Laboratory, USDA/ARS.
Strelkoff, T. S., A. J. Clemmens, B. V Schmidt, and E. J. Slosky. 1996. Border: A Design and Management Aid for Sloping Border Irrigation Systems. Version 1.0. WCL Report #21. Phoenix, Ariz.: U.S. Water Conservation Laboratory, USDA-ARS.
Stringham, G. E., and S. N. Hamad. 1975. Design of irrigation runoff recovery systems. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 101(IR3): 209-219.
Trout, T. J., and D. C. Kincaid. 1994. Float-activated variable-speed irrigation tailwater pump. ASAE Paper No. 942124. St. Joseph, Mich.: ASAE.
USDA. 1974. Chapt. 4, Sect. 15: Border Irrigation. In National Engineering Handbook. Washington, D.C.: Soil Conserv. Serv., USDA.
USDA. 1984. Chapt. 5, Sect. 15: Furrow Irrigation. In National Engineering Handbook. Washington, D.C.: Soil Conserv Serv., USDA.
Walker, W R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. FAO Irrigation and Drainage Paper 45. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
Walker, W. R., and G. V Skogerboe. 1987. Surface Irrigation: Theory and Practice. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc.

الفصل الخامس عشر

هيدروليكا نظم الري بالرش والري الدقيق

ديريل ل. مارتن (جامعة نبراسكا، لينكولن، نبراسكا)
ديل ف. هيرمان (USDA-ARS، فورت كولنز، كلورادو)
مارك ماديسون (CH2M هيل، بورتلاند، أوريجون)

ملخص: يعرض هذا الفصل ويناقش الخصائص الهيدروليكية لنظم الري مغلقة الأنابيب واللازمة لتصميم نظم الري بالرش والري الدقيق، وسيعرض كثيراً من المعادلات الشائعة لحساب فاقد ضاغط الاحتكاك في النظم مغلقة الأنابيب. وهناك تأكيد على صحة وقيود الطرق المستخدمة، وعرض لمناقشة صمامات نظم الري واستخدامها الصحيح لتصميم النظم مغلقة الأنابيب التي يتم تصريفها وإعادة ملئها على نحو متكرر أثناء التشغيل، وسيتم أيضاً ذكر دور توزيع المياه في التربة لتحسين الانتظامية.

الكلمات الأساسية: صمامات تنفيس الهواء والبخار، فحص الصمامات، مقاومة الاحتكاك، فاقد الضاغط، صمامات التحكم في الري، فاقد الاحتكاك في الأنبوب، معايير تصميم الخط الفرعي، صمامات النبض.

(١٥,١) مقدمة

تعد ديناميكا الموائع في نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق معقدة، فالمياه تتحرك ديناميكياً من مصدر المياه عبر المضخة إلى شبكة الأنابيب. وغالباً ما تسير المياه عبر سلسلة من المصافي والمرشحات اعتماداً على مصدر ونوع نظام الري. ومن شبكة الأنابيب، تتدفق المياه تحت ضغط إلى نظام الرش ومن خلال فوهة الرشاش إلى الهواء بسرعة عالية حيث تتفتت إلى قطرات وتسقط على التربة أو سطح المحصول ويعاد توزيعها. وتركب الرشاشات على ارتفاعات متعددة مع كثير من أنواع الفوهات التي تواجه ضغطاً معاكساً وسرعات رياح مضادة. ويؤدي تنوع ظروف التشغيل إلى مدى كبير من أحجام القطرات، فعندما تغذي شبكة الري المياه إلى الري الدقيق تنصرف المياه عبر المنقطات الموضوعة على السطح أو المدفونة في التربة. وفي هذا الفصل، نناقش التدفق داخل شبكة الأنابيب المغلقة إما إلى رشاش الري بالرش أو منقط الري الدقيق، وسيتم مناقشة أهمية إعادة التوزيع على السطح وفي التربة، ومع التوكيد على اعتبارات التصميم العامة ولتركيز محدود على التشغيل. ويقدم الفصلان السادس عشر، والسابع عشر إجراءات مفصلة لتصميم وتشغيل نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق.

(١٥,٢) هيدروليكا نظم الأنابيب

تتكون نظم الري التي تعمل بالضغط من الخطوط الرئيسة التي تقوم بنقل الماء المتدفق بأكمله من مصدر المياه إلى خطوط الأنابيب الفرعية في الحقل. ويتفرع بعض من التدفق المار في الخط الرئيس إلى الخطوط الفرعية الذي يوجه التصرف إلى المنقطات التي تقوم بتبليل مساحة التربة التي تقع عليها، أو إلى الرشاش، أو إلى الفوهات، التي تقوم بتوجيه التيار المتدفق إلى الهواء. وإن فواقد الطاقة في الخط الرئيس الناتجة عن

مقاومة السطح يمكن حسابها مع التدفق المنتظم، بينما تتطلب الخطوط الفرعية والمخارج التي يجري فيها التدفق المتفرع تحليل تدفق غير منتظم ناتجاً عن مقاومة السطح ويسبب الفواقد.

(١٥,٢,١) فواقد الطاقة في الأنابيب والوصلات

إن معادلة دارسي–ويسباك، التي تمت مناقشتها في الفصل الحادي عشر، يوصى بها لحساب فواقد الطاقة في الأنابيب، ومعادلة دارسي–ويسباك للتدفق في الأنابيب الدائرية تُعطى بالمعادلة:

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = \left(\frac{8f}{\pi^2 g}\right)\frac{LQ^2}{D^5} \qquad (١٥,١)$$

حيث إن:

h_f = فاقد الضاغط، م.

f = معامل دارسي–ويسباك للمقاومة.

L = طول الأنبوب، م.

D = القطر الداخلي للأنبوب، م.

V = السرعة، م/ث.

Q = التصرف في الأنبوب، م٣/ث.

g = عجلة الجاذبية، ٩,٨١ م/ث٢.

ومعامل المقاومة (f)، ويُطلق عليه أيضاً معامل الاحتكاك، دالة في الخشونة النسبية (e/D) ورقم رينولد (R_e). ويعد ارتفاع الخشونة المطلقة (e) ثابتاً بالنسبة لمادة أنبوبة ما، ومعامل المقاومة متجانس بعدياً ويمكن تمثيله لمعظم المواد التجارية عن طريق المعادلة شبه التجريبية كما يلي:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2\log\left(\frac{e}{D} + \frac{9.35}{R_e\sqrt{f}}\right) \qquad (١٥,٢)$$

حيث إن:

e = الخشونة المطلقة لداخل الأنبوب، مم.

R_e = رقم رينولد (VD/v).

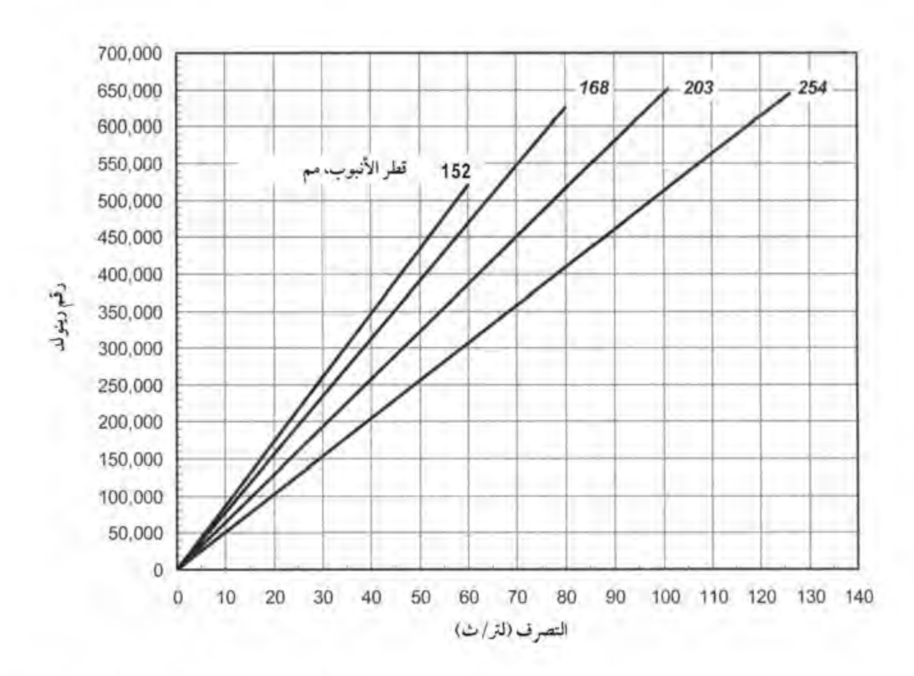
v = اللزوجة الكينماتيكية، م^{٢}/ث.

ومتوسط سرعة السريان تساوي التصرف مقسوماً على مساحة المقطع العرضي وبهذا رقم رينولد في حالة الأنابيب الدائرية التي يكون تدفقها كاملاً (مملوءة كلياً) يمكن حساب من:

$$R_e = 1.273 \times 10^6\ Q/D \qquad (١٥,٣)$$

حيث إن: Q التصرف مقاساً بوحدة لتر/ث، D القطر الداخلي للأنبوب بوحدة مم. واللزوجة الكينماتيكية تساوي ١,٠×١٠$^{-٦}$ م^{٢}/ث، عند درجة حرارة ٢٠ مئوية.

ويقع رقم رينولد بشكل عام بين ٣٠٠,٠٠٠ و ٧٠٠,٠٠٠ عند مدخل نظام الري المحوري أو نظام الحركة المستقيمة المصممة بسعات نظام نموذجية (الشكل رقم ١٥,١)، ويقل رقم رينولد على امتداد طول الخط الفرعي نتيجة خروج المياه من خلال الفوهات أو المنقطات. ويجب أن يكون التصرف في المحور المركزي عند نقطة تبعد ٩٠٪ من طول الخط الفرعي حوالي ٢٠٪ من التصرف الداخل إلى النظام، ولهذا، يتجاوز رقم رينولد ٥٠,٠٠٠ لمعظم الخطوط الفرعية للنظام المحوري التي لها سعات نموذجية. يكون رقم رينولد لكثير من أنواع الري الدقيق والأنواع الأخرى من نظم الري بالرش عادة أقل مما هو بالنسبة للري المحوري. ويكون للأنابيب ذات القطر الكبير المستخدمة في الخطوط الرئيسة أرقام رينولد أكبر من الموضحة في الشكل رقم (١٥,١).



الشكل رقم (١٥,١). رقم رينولد بالنسبة للأنابيب النمطية في نظم الري المحوري ونظم الحركة المستقيمة.

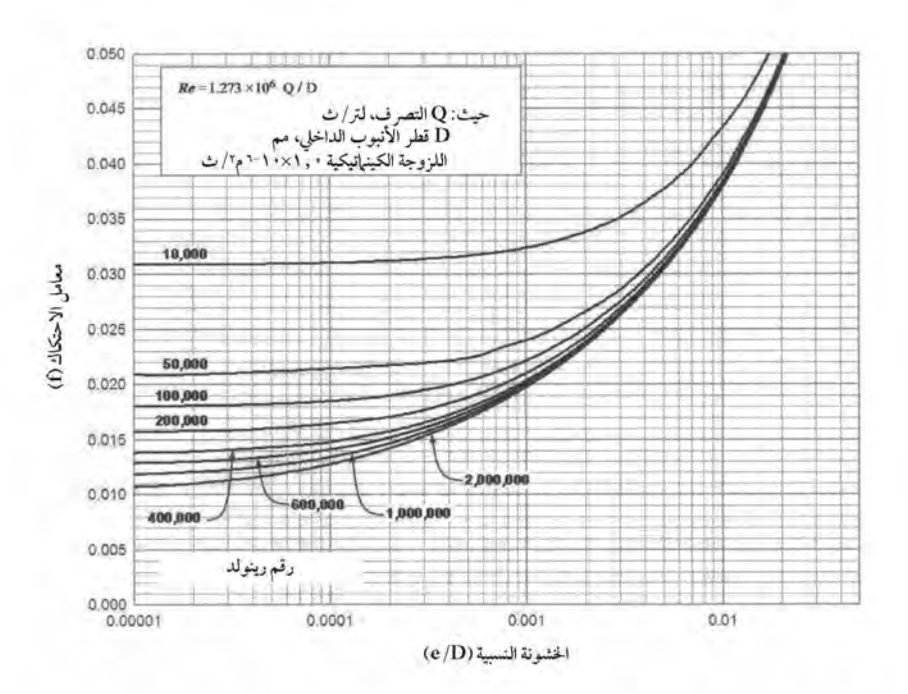
ومعامل المقاومة عديم الأبعاد (لابعدي) وهو متجانس مع الوحدات المعتادة (القدم-باوند) أو الوحدات المترية، ولكن لابد من حل المعادلة رقم (١٥,٢) بشكل تكراري. ويعطي الجدول رقم (١٥,١) قيم الخشونة في حجم حبيبات الرمل المكافئة لحساب معامل الاحتكاك لأنواع الأنابيب المختلفة، وهناك أشكال بيانية عامة للمقاومة لحساب معامل الاحتكاك متاحة في معظم كتب ميكانيكا الموائع، ويوضح في الشكل رقم (١٥,٢) قيم معامل المقاومة النمطية لنظم الري.

ويختلف معامل المقاومة (معامل الاحتكاك) على امتداد طول الخطوط الفرعية لنظم الري بالرش أو الري الدقيق. وتعتمد الخشونة النسبية على نعومة الأنبوب وقطره الداخلي، بالتالي تكون الخشونة النسبية ثابتة في حالة أنبوب ما، ولكن التصرف يتناقص في الخطوط الفرعية على امتداد طول الخط. فعلى سبيل المثال، بافتراض نظام ري محوري

له خط فرعي من الفولاذ المجلفن قطره الداخلي ١٦٣ مم، فالخشونة (e) تبلغ حوالي ٠,١١ مم حيث إن الخشونة النسبية (e/D) من الجدول رقم (١٥,١) تساوي ٠,٠٠٠٦٨. وإذا تم تصميم الخط المحوري لاستيعاب تصرف قدره ٥١ لتر/ث فسوف يكون رقم رينولد عند المدخل حوالي ٤٠٠,٠٠٠. ويبلغ معامل الخشونة عند مدخل الخط الفرعي حوالي ٠,٠١٩ (الشكل رقم ١٥,٢). وعند نقطة ٩٠٪ من المسار على امتداد طول الخط الفرعي يجب أن يكون التدفق حوالي ٢٠٪ من التدفق الداخل إلى الخط الفرعي بما يجعل رقم رينولد يساوي تقريباً ٨٠,٠٠٠ مما يؤدي إلى معامل مقاومة قدره ٠,٠٢٢. وهذا يمثل تغيراً يبلغ تقريباً ١٦٪ في معامل المقاومة على امتداد طول الخط الفرعي، ويوضح الشكل رقم (١٥,٢) أن معامل المقاومة يختلف أيضاً مع قطر الأنبوب. فإذا تدفق تصرف حوالي ٥١ لتر/ث في الخط الفرعي لنظام المحوري قطره ٢٥٤ مم كما في المثال المذكور سابقاً فإن الخشونة النسبية سوف تكون حوالي ٠,٠٠٠٤٣ وسوف ينخفض معامل المقاومة إلى ٠,٠١٨ ويكون رقم رينولد قدره ٢٦٠,٠٠٠.

الجدول رقم (١٥,١). قيم الخشونة e (حجم حبيبات الرمل المكافئة) لمواد الأنابيب لحساب معامل احتكاك دارسي–ويسباك ومعامل الخشونة C بالنسبة لمعادلة هيزن–ويليام (مقتبس من Albertson *et al.*, 1960، وMeadows and Walski, 1998).

المادة	e (مم)	C
الألومنيوم مع وصلات بمسافات قدره ٩,٢ م	٠,١٠ - ٠,٣٠	١١٥ - ١٢٥
أسمنت الأسبستوس	٠,٠٠١٥ - ٠,٠٠٢٥	١٣٥ - ١٤٥
الفولاذ التجاري أو الحديد المطاوع	٠,٠٣ - ٠,٠٩	١٣٥ - ١٤٥
الخرسانة	٠,٢٠ - ٣,٠٠	١٠٠ - ١٤٠
الأنابيب المعدنية المعرجة	٣٠,٠ - ٦٠,٠	٥٥ - ٦٠
الحديد المجلفن	٠,١٠ - ٠,٢٥	١٢٠ - ١٣٠
الفولاذ المجلفن بالنسبة للنظام المحوري، ذو الحركة المستقيمة	٠,١٠ - ٠,١٢	١٣٠ - ١٤٠
الحديد المطاوع الجديد أو الفولاذ المجدول ٤٠ أنبوباً	٠,٠٤ - ٠,٠٥	١٤٠ - ١٥٠
البلاستيك، البولي اثلين PE وكلوريد البولي فينيل PVC	٠,٠٠١٥ - ٠,٠٠٢٥	١٤٠ - ١٥٠
الفولاذ المبرشم	٠,٩٠ - ٩,٠٠	١٠٠ - ١١٠



الشكل رقم (١٥,٢). معامل المقاومة للتدفقات المستخدمة في الري، بناءً على المعادلة (١٥,٢) باستخدام مياه تبلغ درجة حرارتها ٢٠ درجة مئوية.

وبشكل عام فقد يقبل صناع الري صيغاً تجريبية لحساب فواقد الاحتكاك، وتشمل المعادلات شائعة الاستخدام معادلة سكوبي ومعادلة هيزن-ويليام. وتعطي معادلات هيزن-ويليام، وسكوبي المذكورة من قبل الآتي:

$$h_f = K \frac{LQ^{d_1}}{D^{d_2}} \qquad (١٥,٤)$$

حيث إن:

h_f = الفاقد بالاحتكاك في الأنبوب التي تقوم بنقل التصرف عبر طول الأنبوب، م.

L = طول الأنبوب، م.

Q = التصرف، لتر/ث.

D = القطر الداخلي للأنبوب، مم.

وتختلف قيمة K في المعادلتين، ففي حالة معادلة هيزن-ويليام تكون $K = 1.21 \times 10^{10} C^{1.852}$ حيث C معامل خشونة الأنبوب، وتكون الأسس معطاة بكل من $d_1 = 1.852$ و $d_2 = 4.87$ لمعادلة هيزن-ويليام. وقيم C النمطية موضحة في الجدول رقم (١٥,١) للأنواع المختلفة من الأنابيب. أما في حالة طريقة سكوبي تكون $K = 4.10 \times 10^{6} K_s$ حيث K_s معامل سكوبي وتكون قيمة الأسس $d_1 = 1.9$ و $d_2 = 4.9$.

وتعد المعادلات التجريبية (المعادلة رقم ١٥,٤) شبيهة الشكل بمعادلة دارسي-ويسباك عندما يتم التعبير عنها بدلالة التصرف. وقد تم حساب قيم الأسس بالنسبة للتصرف وقطر الأنبوب بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام ومعادلة سكوبي من التقييم التجريبي وهي تكون أصغر مما هي في حالة طريقة دارسي-ويسباك. ولكن، الاختلاف الأساسي هو أن معامل الخشونة في حالة معادلة هيزن-ويليام، ومعامل سكوبي، دائماً ما يتم اعتبارهما ثابتين بالنسبة لنوع معين من الأنابيب. وفي الواقع، فإن كل من حجم الأنبوب، ونوع المادة المصنوعة منها، وتصميم الوصلة، واستقامة الأنبوب، والمسافة بين الوصلات تؤثر على مقاومة التصرف. فعادة، بزيادة حجم الأنبوب، تقل المقاومة (أي، يجب أن تزداد قيمة C في حالة معادلة هيزن-ويليام). وبانخفاض عدد الوصلات، يجب أن تزداد قيمة C. وإن المواد التي تصنع منها الأنبوب والتي يكون لها سطح داخلي أملس سوف يكون لها مقاومة أقل وقيم C أعلى بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام. ويعتمد معامل المقاومة بالنسبة لمعادلة دارسي-ويسباك على خشونة الأنبوب، وقطر الأنبوب، ومعدل التصرف، ودرجة حرارة المياه. ومن هنا، يكون لمعادلة دارسي-ويسباك مدى أوسع في التطبيقات أكثر من معادلة هيزن-ويليام أو معادلة سكوبي.

وتم اقتراح معادلات أخرى للفاقد بالاحتكاك لها صيغ مماثلة، حيث قام كللر وبليسنر Keller and Bliesner (1990) بدمج رقم رينولد، ومعادلة دارسي-ويسباك، ومعادلة بلاوسيس لإيجاد دوال شبيهة بمعادلة هيزن-ويليام، ولكن مع الأسس في حالة تصرف تساوي ١,٧٥ بالنسبة للأنابيب البلاستيك التي لها قطر أقل من ١٢٥ مم و١,٨٣ بالنسبة للأنابيب التي لها قطر أكبر من ١٢٥ مم، على الترتيب.

ولابد من استخدام معادلة هيزن-ويليام والمعادلات التجريبية الأخرى بحذر. وقد قام ليو Liou (1998) بتحليل عديد من قواعد البيانات لوضع حدود وقام بالتوصية باستخدام معادلة هيزن- ويليام. وقد أوضح الاختلافات الكبيرة في قيمة C مع رقم رينولد، والخشونة النسبية، وبشكل منفصل القطر أو الخشونة المطلقة للأنبوب. ويمكن أن يكون الخطأ الناتج من تطبيق معادلة هيزن-ويليام خارج مدى المعايرة الخاص بها حوالي ٢٠٪. وهذا الخطأ يشبه الاختلاف في معامل المقاومة على امتداد طول الخط المحوري. ولا يمثل الاختلاف في قطر الأنبوب أخطاء في حالة معادلة دارسي-ويسباك إذا كان يتم استخدام ارتفاع الخشونة الصحيح. وهناك حاجة لاستخدام الجداول والرسوم البيانية الخاصة بالفاقد في الطاقة في حالة معادلة دارسي-ويسباك لتشجيع قبول أكبر في مجال الصناعة.

يمكن حساب الفاقد في الطاقة في الأنبوب ذات الوصلات عن طريق زيادة معامل الاحتكاك بحوالي ١١٪ في حالة أنابيب الري المصنوعة من الألومنيوم والتي لها وصلات ذات تباعد فيما بينها قدره ٩ م. وبتقليل التباعد حتى ٦ م سوف يؤدي إلى زيادة الفاقد في الطاقة بحوالي ١٧٪، في حين أن زيادة تباعد الوصلات حتى ١٧ م سوف يقلل الفقد في الطاقة بحوالي ٨٪. وقد وجد لايل وويمبرلي Lyle and Wimberly (1962) في دراستهما لعديد من أنواع الوصلات أن هذه الفواقد كانت فوق الحد المقبول. ولابد من الحصول إما على معلومات المصنعين أو الاختبارات الفردية بالنسبة لوصلة ما لتحديد فواقد الطاقة للأنابيب التي لها وصلات.

واستخدم كنكيد وهيرمان Kincaid and Heermann (1970) تقنيات عددية لحساب توزيع الضغط على خط نظام محوري باستخدام معادلة دارسي–ويسباك. وأظهرت نتائجهما أن الفاقد في الضاغط في حامل الرشاش يمكن أن يتم تقريبه باستخدام:

$$h_r = \frac{V^2}{2g} \exp\left(\frac{9.2 q_s}{Q}\right) \quad (١٥,٥)$$

حيث إن:

h_r = فاقد الضاغط في حامل الرشاش، م.

q_s = تصرف الرشاش، لتر/ث.

Q = تصرف الخط الفرعي في منبع السريان، لتر/ث.

إن الفاقد الثانوي الناتج عن التغير في الاتجاه والتصرف إلى داخل حامل الرشاش بصفة عامة كان أقل من ٠,٦ م (٦ كيلوبسكال) وغالباً ما يتم إهماله في تصميم النظم عالية الضغط (أكبر من ٤٠٠ كيلوبسكال).

ويتم حساب الضغوط على امتداد خطوط الأنابيب بأسلوب تكراري، ويكون ضاغط الضغط عند المخرج H_i للجزء i على امتداد خط الأنابيب معطى بما يلي:

$$H_i = H_{i-1} - h_{fi} + (E_{i-1} - E_i) \quad (١٥,٦)$$

حيث إن:

H_{i-1} = ضاغط الضغط عند المدخل إلى الجزء من الأنبوب.

h_{fi} = الفاقد في الضاغط الناتج عن الاحتكاك في هذا الجزء من الأنبوب.

E_i = المنسوب عند الطرف البعيد من هذا الجزء من الأنبوب.

E_{i-1} = المنسوب عند مدخل هذا الجزء من الأنبوب.

(١٥,٢,٢) توزع الضغط في الخط الفرعي

يتم تصميم العديد من النظم على أساس تصرف الرشاش ثابتاً تقريباً على امتداد الخط الفرعي عند متوسط ضغط فوهة محدد، ويتم تحديد مادة الأنبوب عندئذ بدلالة أقصى طول فرعي وأحجام متعددة للحفاظ على اختلاف الضغط على امتداد طول الخط الفرعي ضمن حدود معينة. وعادة ما يتم تصميم الخطوط الفرعية أولاً، ثم يتم تصميم الخط الرئيس، ويتم وضع ضغط المدخل عند مستوى عالٍ بدرجة كافية للحفاظ على أقل ضغط رشاش مطلوب. وفي تصميم الخطوط الفرعية المتنقلة، عادة ما يتم استخدام واحد أو اثنين فقط من أحجام الأنابيب لكل خط فرعي. ولكن، في حالة الخطوط الفرعية الدائمة أو الثابتة يتم استخدام أحجام متعددة من الأنابيب على امتداد الخط الفرعي حيث إن هذا ربما يعد الخيار الأكثر اقتصاداً. وعند تصميم أحجام الخط الرئيس أو الخطوط الموزعة أو الخطوط الفرعية، ليس فقط على المصمم أن يراعي الانتظامية في الإضافة، وإنما أيضاً لابد من الأخذ في الاعتبار تكاليف الضخ والاختلافات في الارتفاع بين مصدر المياه والحقول.

وعندما يتم إزالة المياه عند مسافات فاصلة على امتداد الخط الفرعي، فإن الفاقد بالاحتكاك سوف يكون أقل مما إذا كان التدفق ثابتاً بالنسبة للطول الكلي من خط الأنابيب. وللقيام بدقة بحساب الفاقد بالاحتكاك في الخط الفرعي، ابدأ عند آخر مخرج على الخط واعمل بشكل عكسي حتى تصل إلى المصدر، مع حساب الفاقد بالاحتكاك بين المخارج. وقد تم تبسيط هذه العملية المضجرة عن طريق عملية قام بتحديدها كريستيانسن (1942) Christiansen. فقد قام بتحديد معامل تصحيح (F) والذي يساوي نسبة الفاقد بالاحتكاك في الخط الفرعي مع مخارج متعددة بينها مسافات متساوية وتصرفات متساوية، إلى تلك التي يتم حسابها من المعادلة العامة والتي تفترض أن جميع المياه تستمر في السريان في خط الأنابيب حتى نهايته. المعامل F يفترض أن الرشاش الأول يكون موضوعاً على بعد مسافة رشاش كامل من الخط الرئيس. وقد قام جنسن وفراتيني (1957) Jensen and Fratini بتحديد معامل معدل F′ عندما يتم وضع

الرشاش الأول عند نصف المسافة الكاملة عن الخط الرئيس. وقد تم تحديد المعادلات لحساب قيم المعاملات F و F'. وتعتمد المعادلات الخاصة بحساب F على معادلة كريستيانسن في حين تقوم المعادلة الخاصة بحساب F' على التقريب الذي قام به كللر وبليسنر Keller and Bliesner (1990) على الدالة التي قام بتحديدها جنسن وفراتيني:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad , \quad F' = \frac{2N}{2N-1}\left(\frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}\right) \qquad (١٥,٧)$$

حيث N عدد مخارج الرشاشات على الخط الفرعي و m الأس في معادلة الفاقد بالاحتكاك. ويكون الأس m يساوي ١,٨٥٢ في حالة معادلة هيزن-ويليام، ويساوي ٢,٠ في حالة معادلة دارسي-ويسباك، ويساوي ١,٩ في حالة معادلة سكوبي، ويساوي إما ١,٧٥ أو ١,٨٣ في حالة الدوال التي قام بتطويرها كللر وبليسنر Keller and Bliesner (1990)، ويوضح الجدول رقم (١٥,٢) قيم F و F'.

وتوضح العلاقة بين الضغط والتصرف للرشاشات أن التصرف يختلف مع الجذر التربيعي للضغط. وحيث إن الضغط يتغير على امتداد الخط الفرعي نتيجة للاختلافات في الاحتكاك والمناسيب، فإن التصرف يختلف كذلك. ونسبة الضغط على الخط الفرعي P/P_d، هي نسبة الضغط عند أي نقطة على الخط الفرعي إلى الضغط عند آخر رشاش (مع منسوب ثابت). ونسبة التصرف تساوي الجذر التربيعي لنسبة الضغط:

$$\frac{q_s}{q_d} = \sqrt{\frac{P}{P_d}} \qquad (١٥,٨)$$

حيث إن q_s تصرف أي رشاش يبلغ ضغطه حوالي P، و q_d يساوي التصرف عند الرشاش الأخير على الخط الفرعي والذي يكون له ضغط قدره P_d. ومن هنا، ومع ٢٠٪ تغير في الضغط على امتداد الخط الفرعي، يتغير التصرف بحوالي ١٠٪.

الجدول رقم (١٥,٢). المعاملات المستخدمة لحساب الفاقد في الضاغط في الخط الفرعي مع مسافات متساوية للرشاشات وتصرف متساوٍ، بالنسبة للمعادلات شائعة الاستخدام لحساب الفاقد بالاحتكاك (بناءً على المعادلة رقم (١٥,٧)).

	كللر وبليسنر		هيزن–ويليام		سكوبي		دارسي–ويسباك	
المعامل m	١,٧٥		١,٨٢		١,٩		٢,٠	
عدد الرشاشات	F	F′	F	F′	F	F′	F	F′
٢	٠,٦٥	٠,٥٣	٠,٦٤	٠,٥٢	٠,٦٣	٠,٥١	٠,٦٣	٠,٥٠
٣	٠,٥٥	٠,٤٦	٠,٥٣	٠,٤٤	٠,٥٣	٠,٤٣	٠,٥٢	٠,٤٢
٤	٠,٥٠	٠,٤٣	٠,٤٩	٠,٤١	٠,٤٨	٠,٤١	٠,٤٧	٠,٣٩
٥	٠,٤٧	٠,٤١	٠,٤٦	٠,٤٠	٠,٤٥	٠,٣٩	٠,٤٤	٠,٣٨
٦	٠,٤٥	٠,٤٠	٠,٤٤	٠,٣٩	٠,٤٣	٠,٣٨	٠,٤٢	٠,٣٧
٧	٠,٤٤	٠,٣٩	٠,٤٣	٠,٣٨	٠,٤٢	٠,٣٧	٠,٤١	٠,٣٦
٨	٠,٤٣	٠,٣٩	٠,٤٢	٠,٣٨	٠,٤١	٠,٣٧	٠,٤٠	٠,٣٦
٩	٠,٤٢	٠,٣٩	٠,٤١	٠,٣٧	٠,٤٠	٠,٣٧	٠,٣٩	٠,٣٦
١٠	٠,٤٢	٠,٣٨	٠,٤٠	٠,٣٧	٠,٤٠	٠,٣٦	٠,٣٩	٠,٣٥
١٢	٠,٤١	٠,٣٨	٠,٣٩	٠,٣٧	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٥
١٤	٠,٤٠	٠,٣٨	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥
١٦	٠,٤٠	٠,٣٨	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٤
١٨	٠,٣٩	٠,٣٧	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٦	٠,٣٦	٠,٣٤
٢٠	٠,٣٩	٠,٣٧	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٦	٠,٣٤
٢٥	٠,٣٨	٠,٣٧	٠,٣٧	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٥	٠,٣٤
٣٠	٠,٣٨	٠,٣٧	٠,٣٧	٠,٣٦	٠,٣٦	٠,٣٥	٠,٣٥	٠,٣٤
٣٥	٠,٣٨	٠,٣٧	٠,٣٧	٠,٣٦	٠,٣٦	٠,٣٥	٠,٣٥	٠,٣٤
٤٠	٠,٣٨	٠,٣٧	٠,٣٦	٠,٣٦	٠,٣٦	٠,٣٥	٠,٣٥	٠,٣٤
٥٠	٠,٣٧	٠,٣٧	٠,٣٦	٠,٣٥	٠,٣٥	٠,٣٥	٠,٣٤	٠,٣٤

وللحصول على كفاءات إضافة عالية مع البقاء ضمن الأحجام الاقتصادية للأنابيب، يجب إبقاء التغير في ضغط الخط الفرعي عند أدناه عملياً. ويجب تحديد هذا التغير من قبل مصمم النظام مع موافقة المشتري. وبشكل عام لا يجب أن يتجاوز التغير في الضغط ٢٠٪ من متوسط ضغط الخط الفرعي. وفي النهاية يتضمن الفاقد المسموح به في الضغط موازنة تكلفة رأس المال للأنبوب مقابل تكاليف الضخ الناتجة عن الاحتكاك. وقد عرض كللر وبليسنر Keller and Bliesner (1990) طرقاً لحساب أكثر أحجام الأنابيب اقتصاداً.

ويمكن تقريب التغير في الضغط على امتداد الخط الفرعي عن طريق افتراض تصرف منتظماً لكل وحدة طول على امتداد الخط الفرعي. ويكون التدفق الكلي في الخط الفرعي (Q_x) عند نقطة x على امتداد الخط الفرعي معطى بالمعادلة:

$$Q_x = Q_L(1 - x/L) = N\,q_s\,(1 - x/L) \tag{١٥,٩}$$

حيث إن Q_L التدفق الكلي الداخل إلى الخط الفرعي. وإذا كان من المفترض أن ميل الخط الفرعي منتظم، فإن الفاقد في الضاغط لكل وحدة طول عند نقطة على امتداد الخط الفرعي في حالة معادلة هيزن-ويليام يكون معطى بما يلي:

$$\frac{dH}{dx} = -KQ_x^{1.852}D^{-4.87} - S_f \tag{١٥,١٠}$$

حيث إن S_f الميل المنتظم للخط الفرعي من المدخل. والميل الموجب يعني أن الخط الفرعي يميل لأعلى. وبدمج هذه المعادلات وبالتكامل من الطرف الأقصى للخط الفرعي إلى نقطة على امتداد الخط الفرعي ينتج ضاغط الضغط $H(x)$ على امتداد خط فرعي منتظم الميل:

$$H(x) = H_d + \left[\frac{K}{2.852} (Nq_s)^{1.852} \frac{L}{D^{4.87}} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{2.852} + S_f (L - x) \right] \quad (١٠,١١)$$

وعندما يتم تطبيق هذه المعادلة على مدخل الخط الفرعي (أي، عند $x = 0$) يكون الفاقد في الضغط في الخط الفرعي ٣٥٪ (١/٢,٨٥٢) من الفاقد في خط الأنابيب المغلق حيث يتم وصول كل التدفق إلى الطرف الأقصى من خط الأنابيب. وهذا يناظر لقيمة F قدرها ٠,٣٥ والتي سوف تساوي عدداً لانهائياً من الرشاشات على الخط الفرعي. ويمكن التعويض عن قيم F و F' المناسبة بالمقدار 1/2.852 في المعادلة (١٠,١١).

واستنتج تشو وموي (1972) Chu and Moe تقريباً تحليلياً لحساب الفاقد في الضاغط في خط الفرعي للنظام المحوري، وافترضا عدد لانهائي من الرشاشات الصغيرة جداً التي يتم توزيعها بشكل متساو على امتداد الخط الفرعي مع تصرف يتناسب مع نصف القطر في حالة الري المنتظم. ويبلغ الفاقد الكلي في الضاغط في الخط الفرعي ٥٤٪ من الفاقد في الضاغط بالنسبة لخط فرعي يعمل كمصدر لنقل كل التصرف الداخل. ويمكن حساب هذا الفاقد في ضاغط مصدر المياه من جدول الفاقد في الطاقة أو من خلال واحدة من المعادلات المذكورة سابقاً. وقد تم تقريب توزيع الفاقد في الضغط عن طريق:

$$H_x = H_L + (H_o - H_L) \left\{ 1 - \left(\frac{15}{8}\right) \left[\frac{x}{L} - \frac{2}{3}\left(\frac{x}{L}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{x}{L}\right)^5 \right] \right\} \quad (١٠,١٢)$$

حيث إن:

H_x = ضاغط الضغط عند مسافة نصف قطرها x من المحور، م.

H_o = ضاغط الضغط عند المحور، م.

H_L = ضاغط الضغط عند الطرف الأقصى من الخط الفرعي عند نصف القطر L ، م.

x = مسافة نصف قطرية من المحور، م.

(١٥,٢,٣) متوسط الضغط

يمكن حساب متوسط ضاغط الضغط على امتداد الخط الفرعي عن طريق تكامل توزيع الضغط للخط الفرعي وقسمته على الطول. وهذا يؤدي إلى:

$$H_a = H_d + \frac{Fh_f}{3.852} + \frac{S_f L}{2} \qquad (١٥,١٣)$$

حيث إن: h_f الفاقد بالاحتكاك لأنبوب ذات حجم متساو بلا مخارج ويمكن أن يساوي معامل التصحيح إما F أو F′ بناءً على تباعد الرشاش الأول من الخط الرئيس.

ويعتمد متوسط الضغط على تصرف الرشاش، وعدد الرشاشات على الخط الفرعي، وقطر ونوع الأنبوب، والميل على امتداد الخط الفرعي. ويحدد تصميم الخطوط الفرعية طول وعدد الرشاشات على الخط الفرعي. ويتم تحديد التصرف لكل رشاش عن طريق متطلبات المحصول من المياه، وخصائص التربة، والمسافات بين الرشاشات، وقيود الإدارة. وبمجرد معرفة هذه المعلومات يصبح من الممكن حساب متوسط الضغط على امتداد الخط الفرعي. ويتم استخدام متوسط الضغط والتصرف المطلوب لحساب أحجام فوهات الرشاشات. ويجب أن يقوم كل من الفوهة والضغط المختارين بتوفير غطاء كافٍ للحفاظ على الانتظامية. ويمكن أن يكون متوسط الضغط من المطلوب رفعه لتلبية كلا الشرطين.

(١٥,٢,٤) تغير الضغط

يمكن حساب ضاغط الضغط عند المدخل (H_o) وعند النهايات القصوى (H_d) باستخدام معادلة توزيع الضغط:

(١٥,١٤) $H_o = H_a + 0.74Fh_f + 0.5S_fL$ ، $H_d = H_a - 0.26Fh_f - 0.5S_fL$

وهناك تغير في الضغط موضح لأحد النظم كمثال في الشكل رقم (١٥,٣). ويقع متوسط الضغط بشكل عام في الربع الثاني من خط الأنابيب. وتتحرك نقطة متوسط الضغط لأسفل خط الأنابيب بزيادة الميل.

وتتطلب الخطوط الإرشادية للحفاظ على تغير الضغط عند أقل من ٢٠٪ من متوسط الضغط أن يتم تحديد أقصى وأدنى ضغط، ويحدث أقصى ضغط عند المدخل إلى الخط الفرعي بزيادة الارتفاع على امتداد الخط الفرعي (أي، عندما يميل الخط الفرعي لأعلى) أو عندما يكون ميل خلف السريان أقل من الفاقد بالاحتكاك على امتداد الخط الفرعي (أي عندما، $-S_fL < Fh_f$). وبالعكس، يحدث أقصى ضغط عند الطرف الأقصى من الخط الفرعي عندما يسري الخط الفرعي لأسفل عند زاوية تتجاوز الفاقد بالاحتكاك على امتداد الخط الفرعي (أي عندما، $-S_fL > Fh_f$). ويمكن حساب أقصى ضغط باستخدام إما المعادلة رقم (١٥,١٤) أو المعادلة رقم (١٥,١٥).

ويمكن أن يحدث أدنى ضغط في أي مكان على امتداد الخط الفرعي بناءً على الفاقد بالاحتكاك والميل (الشكل رقم ١٥,٣). ويمكن تحديد أدنى ضغط وموقعه من المعادلة رقم (١٥,١١). وتتطلب معايير الانتظامية أن يكون الفرق بين أقصى وأقل ضاغط أقل من ٢٠٪ من متوسط ضاغط الضغط. ويكون حينئذ أدنى متوسط ضغط مقبول هو خمسة أضعاف التغير في الضغط على امتداد الخط الفرعي. وباستخدام هذا المعيار وتوزيع الضغط، فإن أدنى متوسط ضغط مقبول يعطى بالمعادلة:

١- في حالة $S_f \geq 0$ يكون

$$H_{max} = H_{\circ} \quad , \quad H_{min} = H_d \quad , \quad P_{min} = 5\left(F\,h_f + S_f L\right)9.8$$

٢- في حالة $S_f < 0$ يكون

$$x_{min} = L\left[1 - \left(-\frac{S_f L}{h_f}\right)^{\frac{1}{1.852}}\right]$$

و

$$H_{min} = H_d + F\,h_f\left[\left(-\frac{S_f L}{h_f}\right)\right] + S_f L\left(-\frac{S_f L}{h_f}\right)^{\frac{1}{1.852}} \qquad (١٥,١٥)$$

وفي حالة $\left(-F\,h_f / L\right) \leq S_f \leq 0$ يكون

$$H_{max} = H_{\circ} \quad , \quad x_{max} = 0$$

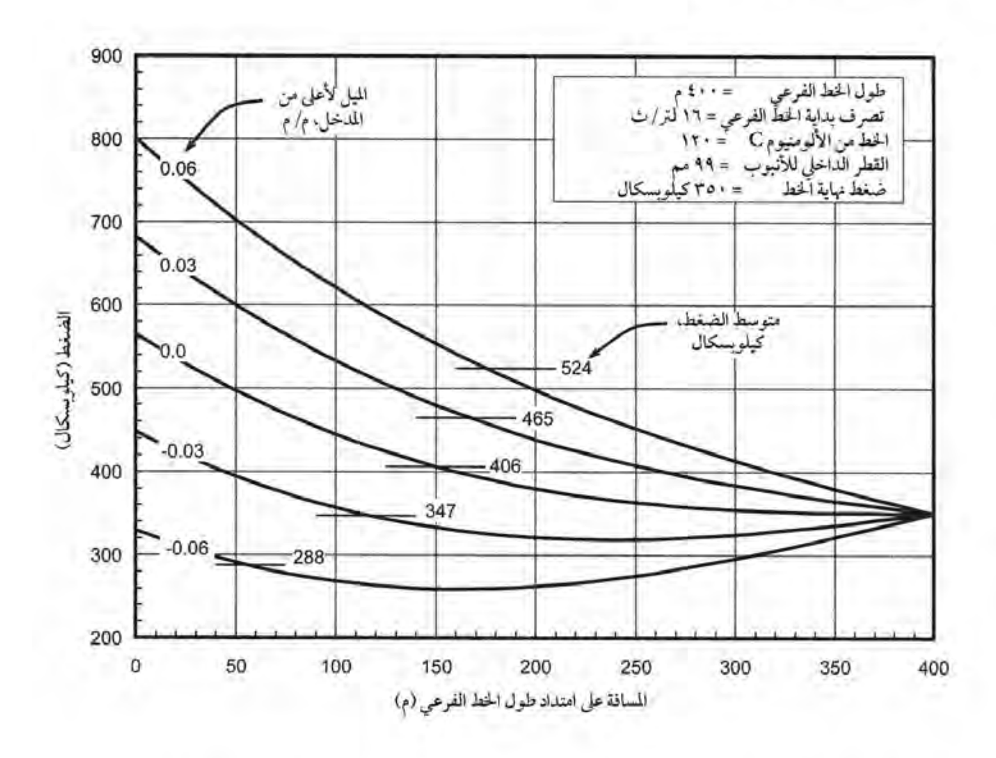
$$P_{min} = 5\left\{F h_f\left[1 - \left(-\frac{S_f L}{h_f}\right)^{\frac{2.852}{1.852}}\right] + S_f L\left[1 - \left(-\frac{S_f L}{h_f}\right)^{\frac{1}{1.852}}\right]\right\}9.8$$

وفي حالة $S_f \leq \left(-F h_f / L\right)$ يكون

$$H_{max} = H_d \quad , \quad x_{max} = L$$

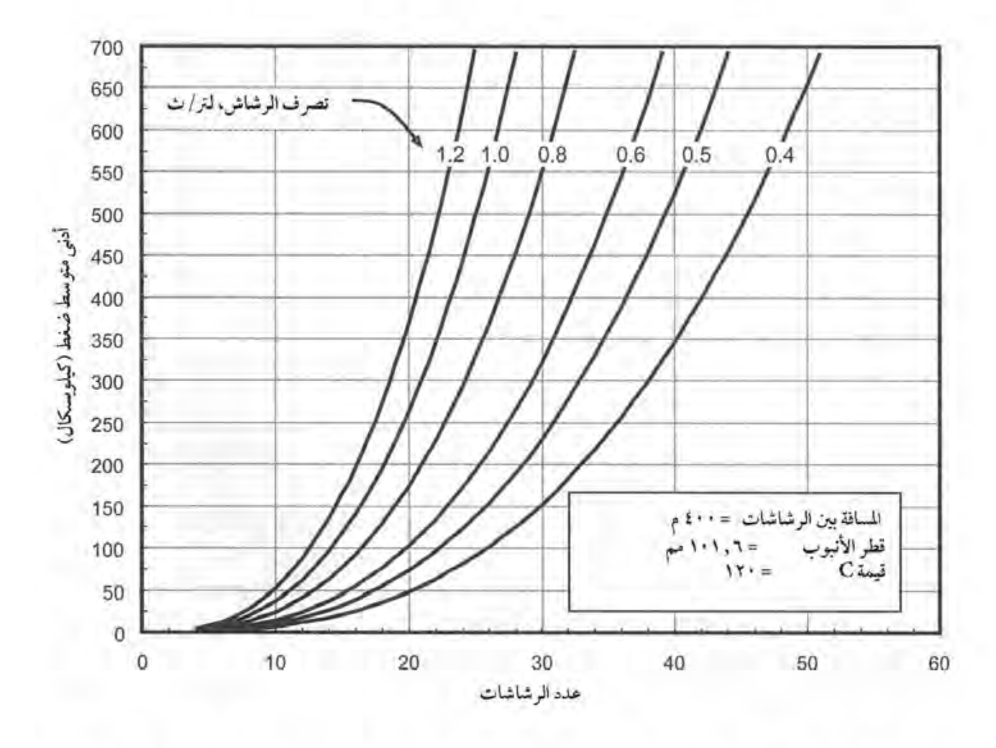
$$P_{min} = 5\left\{ -Fh_f \left(-\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{2.852}{1.852}} - S_f L \left[1 - \left(-\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{1}{1.852}} \right] \right\} 9.8$$

حيث إن P_{min} (بوحدات كيلوبسكال) القيمة الدنيا التي يمكن استخدامها لمتوسط الضغط في اختيار أحجام الفوهات.



الشكل رقم (١٥,٣). مثال لتوزيع الضغط على امتداد خط فرعي للرش مقابل الميل والموقع على امتداد الخط الفرعي حيث يحدث متوسط الضغط.

ويمكن استخدام المعادلة المذكورة سابقاً لتصميم الخطوط الفرعية ثابتة الحجم. ويمكن تطوير الخطوط الإرشادية لظروف معينة كتلك الموضحة في الشكل رقم (١٥,٤). وبالنسبة لهذا المثال يكون عدد الرشاشات على الخط الفرعي والتصرف لكل رشاش من تصميم النظام والحسابات التمهيدية. ويمكن استخدام الأشكال البيانية لأجل التقدير السريع لمتوسط الضغط للاستخدام في اختيار فوهات الرشاشات، أو أقصى عدد من الرشاشات للخط الفرعي. ويمكن القيام بعمل سلسلة من الأشكال البيانية لتنوع من المسافات بين الرشاشات، وأحجام الأنابيب، والميول. وقد تم تطوير المسطرة الحاسبة والأدوات الأخرى التي تستخدم بشكل موسع للتقدير السريع للفاقد بالاحتكاك.



الشكل رقم (١٥,٤). الرسم البياني للتصميم القائم على أدنى متوسط ضغط في حالة خط فرعي مكون من أنبوب قطره ١٠١,٦ مم مع وجود رشاشات على مسافات بينية قدرها ٩,١ م.

وعندما تستخدم أحجام متعددة من الأنابيب على امتداد الخط الفرعي، أو عندما تكون الاختلافات الطبوغرافية معقدة، يصبح من المطلوب القيام بإعداد مخطط حساب تكراري لجزء تلو الجزء. ومع الإتاحة واسعة الانتشار للحاسبات الشخصية ولبرامج جداول العمل تصبح التقنية التكرارية ماهرة.

ويجب تضمين فواقد الاحتكاك في الصمامات والوصلات مثل حامل الرشاش وصمامات الخطوط الفرعية في حسابات الضغط. ويتم بشكل شائع تضمين الفواقد في وصلات الأنابيب في معامل فواقد الاحتكاك (انظر الفصل الحادي عشر للاطلاع على تفاصيل حساب الفواقد في الوصلات والصمامات). وتعد معاملات تصرف الصمام (تصرف لتر/ث في حالة فقد قدره ١ كيلوبسكال) متاحة من معلومات المصنعين، فالفاقد الفعلي في الضاغط عبر الصمام يكون في العادة متناسباً مع مربع معدل التصرف.

(١٥,٢,٥) منحنى ضاغط النظام

ينتج تصميم الخطوط الفرعية فقط معدل تصرف وضاغط ضغط واحد عند المدخل. وبالنسبة لمواصفات المضخة يجب تطوير منحنى تصرف الضاغط بالنسبة لنظام الرشاش. ويمكن تطوير علاقة الضاغط-التصرف من دالة توزيع الضغط ومعادلة تصرف الرشاش:

$$H_0 = \frac{1}{9.8}\left(\frac{q_s}{C_d D_n^{a_1}}\right)^{1/b_1} + 0.74\,F\,K\left(N q_s\right)^{1.862}\frac{L}{D^{4.87}} + \frac{S_f L}{2} \qquad (١٥,١٦)$$

حيث إن: C_d معامل التصرف للرشاش المستخدم على الخط الفرعي، و D_n قطر الفوهة، والمتغيرات a_1 و b_1 معاملات معادلة التصرف:

$$q_s = C_d D_n^{a_1} P^{b_1} \qquad (١٥,١٧)$$

والمعاملان a_1 و b_1 كثيراً ما يكون لهما القيمتان ٢,٠ و ٠,٥، على الترتيب.

ويمكن كذلك إيجاد منحنى ضاغط النظام عن طريق التعامل مع الخط الفرعي كفوهة دائرية مفردة. وباستخدام هذه العلاقة سوف يزداد ضاغط المدخل تقريباً بشكل متناسب مع مربع معدل التصرف $\left(H_0 = kQ_L^2\right)$. ويمكن حساب قيمة k من قيم التصميم لكل من H_0 و Q_L ويمكن استخدام قيمتها للتصرفات الأخرى.

فإذا كان سيتم تشغيل المضخة عند معدلات تصرف مختلفة، على سبيل المثال باستخدام عدد متغير من الخطوط الفرعية التي يتم تشغيلها، فيصبح من الممكن تعيين اتحادات مختلفة من الضاغط-التصرف. ويمكن التحكم في ضغط المضخة عند الضرورة، برغم أنه من المطلوب تشغيل المضخة قريباً من السعة الكلية. وسوف يكون تشغيل مضخات متعددة على التوازي اختياراً جيداً للنظم التي يختلف معدل التصرف فيها بشكل كبير ولكن التي يكون فيها ضاغط الضغط ثابتاً. ويمكن استخدام مضخة تعزيز الضاغط عندما يوجد جزء من النظام على ارتفاع عالٍ بالنسبة إلى المضخة.

ومن المطلوب إضافة المياه بشكل منتظم بقدر الإمكان، سواء كان النظام بأكمله أو جزء منه هو الذي يتم تشغيله فقط. وهذا يتطلب أن يكون الفاقد في الضغط نتيجة للاحتكاك في الخط الرئيس عند أدناه أو أن أجهزة التحكم في التصرف يتم استخدامها. ولابد أيضاً من احتواء اختلافات مناسيب الحقل في الحسابات.

وعادة، لا يجب أن تتجاوز سرعات التدفق ٣ م/ث. وبالنسبة للنظم الدائمة التي يتم فيها استخدام الأنابيب المصنوعة من كلوريد البولي فينيل (PVC) وأنابيب أسمنت الأسبتوس (AC) التي يتم استخدامها لخطوط إمداد المياه، فإن السرعات لا يجب أن تتجاوز ٢,٢٥ م/ث، ومعظم المصنعين يحذرون من استخدام السرعات التي تتجاوز ١,٦ م/ث.

وتشغيل أكثر من خط فرعي واحد على النظام في وقت واحد (وبشكل خاص بجوار بعضهم البعض)، فإن خط مصدر إمداد المياه يصبح متعدد المخارج. وهذا يعني تصرف كبير من المياه عبر الجزء القريب من المضخة ولابد من حساب الفاقد بالاحتكاك في كل جزء منها.

(١٥,٢,٦) تنظيم الضغط/التحكم في التصرف

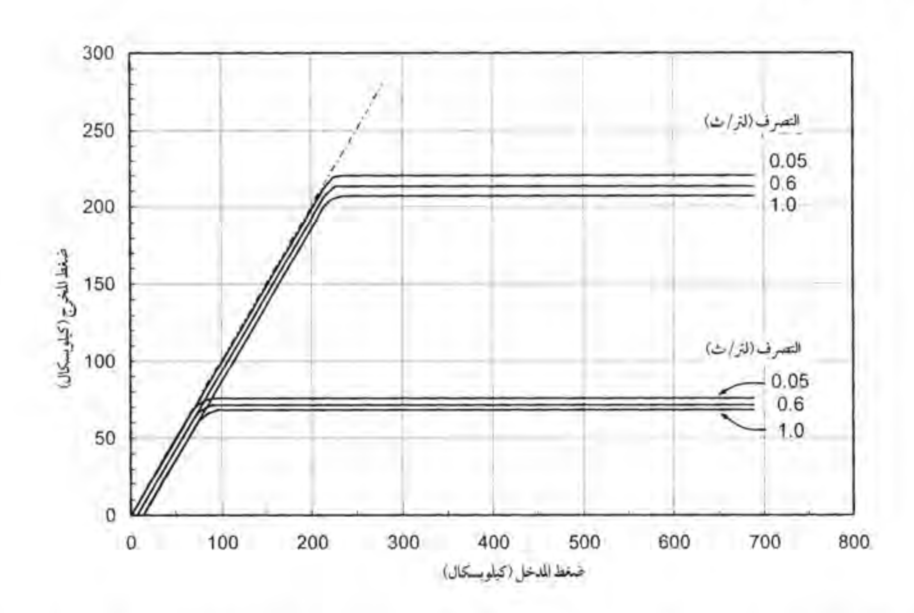
يمكن أن يختلف ضغط التشغيل للرشاش عن قيمة التصميم، ويمكن أن تنتج الاختلافات في الضغط من التغيرات في المناسيب بحركة الخط الفرعي للرشاش عبر الحقل. ويمكن أن تحدث الاختلافات أيضاً عندما تكون عدد الخطوط الفرعية أو الرشاشات لكل خط فرعي مختلفة أثناء التشغيل. وعندما يتم إيقاف الخط الفرعي لأجل إعادة تحديد موقع له، فإن الضغط يزداد على الخط الفرعي الذي يظل في وضع التشغيل. وإذا كان الاختلاف حاداً جداً، فربما يكون من المطلوب استخدام منظمات للضغط أو فوهات للتحكم في التدفق لتوفير الانتظامية المطلوبة.

وتعد منظمات الضغط أجهزة تعمل على الحفاظ على ضغط ثابت خلف السريان بالنسبة لضغوط مدخل متغيرة كما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٥). وميزة استخدام منظمات الضغط هي أن التصرف من الرشاش يكون تقريباً ثابتاً عبر مدى واسع من ضغوط المدخل. وإن المؤشر الذي يوضح أن هناك حاجة للمنظمات يقوم على مفهوم أن الضغط عند الرشاش لا يجب أن يختلف بدرجة أكبر من ٢٠٪. ويمكن تحديد الخطوط الإرشادية من هذه المعايير كتلك الموضحة في الشكل رقم (١٥,٦).

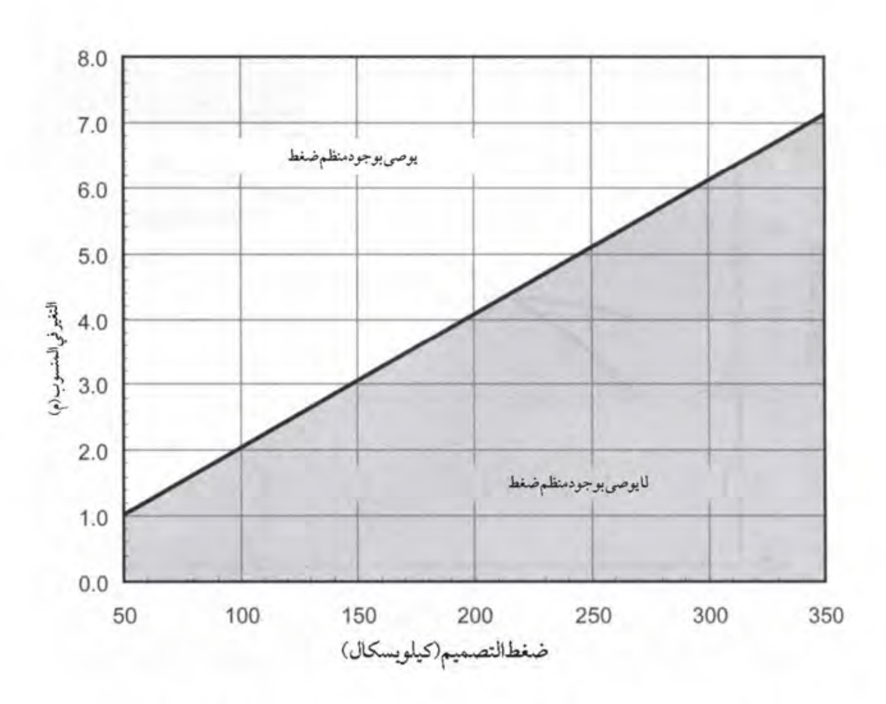
لا تستخدم منظمات الضغط بدون قيود. أولاً، وجود فاقد في الضغط عبر المنظمات. ويحدث الفاقد في الضغط داخل المنظم حتى عندما يكون ضغط المدخل أقل من ضغط التصميم. ويقوم المصممون بشكل شائع باستخدام فاقد قدره من ٢٠ إلى ٤٠ كيلوبسكال عبر المنظم. ولأجل التصميم السليم يجب أن يكون الضغط في الخط الفرعي كافياً لتلبية الضغط المطلوب للرشاش، وفواقد الضغط في الوصلات وحوامل الرشاشات المستخدمة لربط الرشاش بالخط الفرعي والفواقد التي تحدث عبر المنظم.

وتعمل منظمات الضغط على زيادة تكلفة نظم الري. ويقوم التحليل الذي قام به فون برنوث Von Bernuth (1983) بمقارنة الفائدة الاقتصادية للزيادة في الانتظامية في حالة استخدام منظمات الضغط بالاستثمار المخصص لها. وهذا النوع من المقارنة يكون خاصاً بالموقع بدرجة كبيرة ولا يمكن تعميم النتائج، ومع هذا، يمدنا التحليل بخطوات التقييم المحلي.

ومن الصعب مراقبة التشغيل الصحيح لمنظمات الضغط. كما أوضح كل من فون برنوث وبيرد Von Bernuth and Baird (1990) ، أن بعض المنظمات تعرضت للتخلفية عندما يتغير ضغط المدخل بشكل تدريجي. وبالتالي ، فإن منظم الضغط لا يقوم بتقييد التدفق بالمدى المطلوب لحالات الضغط العالي ويقوم بشكل مفرط بتقييد التدفق عندما ينخفض الضغط. وتعمل منظمات الضغط عن طريق التحكم في فتحة تدفق المياه بتضييق الفتحة عندما يزيد التصرف ، وهذا يتطلب الفتحات الصغيرة نسبياً التي ربما تنسد عندما تكون هناك مادة غريبة في مياه الري. وهذا يجعل الاستفادة من الأجهزة غير متناسقة لبعض مصادر المياه. وإذا انسدت هذه المنظمات ، من خلال وجود مشاكل متعلقة بالتخلفية أو أن تعلق ببساطة في موضع واحد فيصبح من الصعب ملاحظة التشغيل الصحيح. وربما يظهر أن الرشاش يعمل ولكن من المحتمل حينها ألا يكون الضغط صحيحاً.



الشكل رقم (١٥,٥). التحكم في منظم ضغط المخرج مع المنظمات الموضوعة للحفاظ على ضغط من ٧٠ إلى ٢١٠ كيلوبسكال.



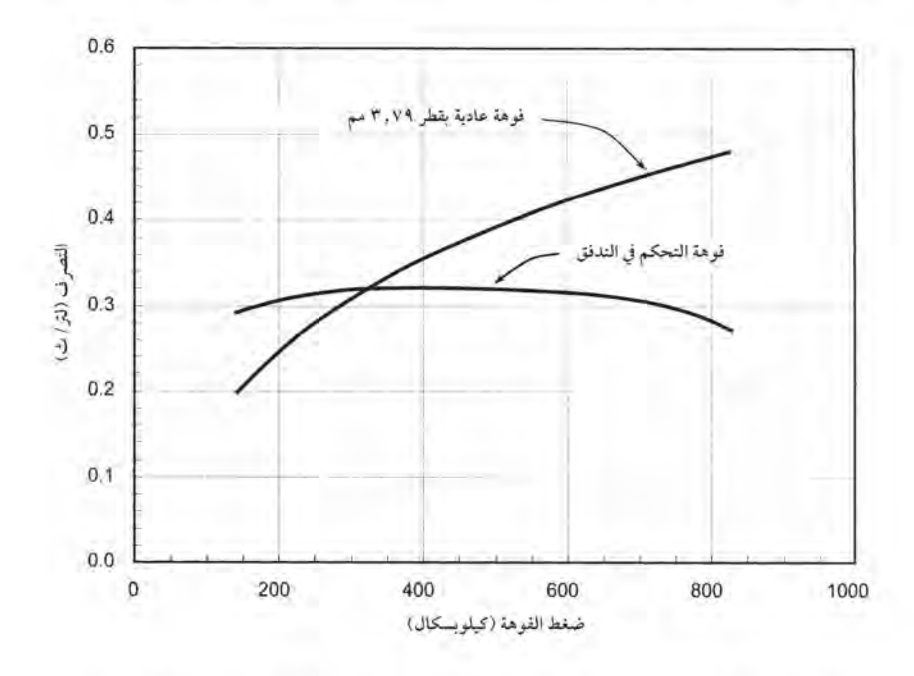
الشكل رقم (١٥,٦). التغير في المنسوب المناظر لتغير قدره ٢٠٪ في ضغط التصميم.

وتستخدم المنظمات في كثير من الأحيان عندما لا يكون هناك حاجة لها. ويتم استخدام المنظمات في المعتاد في كثير من النظم المحورية التي تستخدم رشاشات الضغط المنخفض. ويستخدم بعض المصممين المنظمات كتأمين، وبهذا سوف يعمل النظام عند ضغط مناسب حتى لو لم يكن النظام يتطلب القيام بتنظيم الضغط. ومن الواضح أن هذا سوف يعمل على رفع تكاليف الاستثمار والتشغيل ولابد من تجنبه.

وإذا كانت منظمات الضغط تستخدم أدنى ضغط في النظام فلابد من تحديده. وهذا يحدث في المعتاد عند نقطة تقع قرب نهاية النظام حيث يكون الارتفاع عند أعلاه. ومن الممكن أن يختلف الضغط الأدنى أثناء مواسم النمو إذا انخفضت سعة إمداد الآبار أو المصادر المائية الأخرى. ولابد من تصميم النظام لهذا الضغط واستخدام المنظمات

المناسبة في هذه الحالة. ويمكن أن تقل انتظامية النظام بشكل تبادلي إذا انخفض ضغط المدخل لأقل من ضغط التصميم الخاص بالنظام.

وتعد تصاميم الفوهة الخاصة التي تعوض التغير في الضغط في هذا المجال متاحة، وهذه الفوهات، تسمى فوهات التحكم في التدفق، ويتم تركيبها بحيث يختلف قطر الفوهة مع ضغط الفوهة. فعندما يرتفع الضغط يقل قطر الفوهة ويتم الحفاظ على معدل تصرف منتظم نسبياً كما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٧). ويمكن أن تكون فوهات التحكم في التدفق فعالة في توفير تصرف منتظم وهي تعد أزهد سعراً وأقل تكلفة في التشغيل من منظمات الضغط، ولكنها، لا تقوم بتعويض التغير الكبير في الضغط مثل المنظمات. وكما هو الحال مع منظمات الضغط، يصعب تحديد ما إذا كانت الفوهات تعمل بشكل صحيح وما إذا كانت قياسات التدفق مطلوبة بشكل عام لمراقبة التشغيل.



الشكل رقم (١٥,٧). توضيح المقارنة بين فوهة التحكم في التدفق والفوهة العادية.

(١٥,٢,٧) فواقد الطاقة في المنظمات والمنقطات

ينصح المصنع بأن يتجاوز ضغط المدخل الضغط الاسمي للمنظم بحوالي ٣٠ إلى ٤٠ كيلوبسكال، وسيسمح هذا بشكل عام بفقد الضغط عبر المنظم عند معظم معدلات التصرف التصميمي. وكما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٦)، فإن ضغط المنفذ المنظم لا يعتمد على معدل التصرف. ويزداد الفاقد في الضاغط عبر المنظم بزيادة التصرف. والمنقطات التي لها كذلك فواقد في الضاغط تكون متاحة بناءً على الضغط وبالتالي على معدل التصرف، ومن الموصى به البحث في المراجع والحصول على توصيات المصنعين حول الفاقد في الضاغط بالنسبة لمنظمات أو منقطات بعينها.

(١٥,٢,٨) فواقد الطاقة في نظم الترشيح

تشمل نظم الترشيح المنخلي وأنواع المرشحات الوسطية. وغالباً ما تستخدم مداخل محطات الضخ مرشحاً منخلياً دواراً يكون له أدنى فاقد في الضاغط مع مساحة حجز كبيرة نسبياً بالنسبة للتصرف التصميمي. وأيضاً يتم استخدام المرشحات قبل القيام بدفع التدفق إلى نظم الخطوط الفرعية خاصةً في نظم الري الدقيق. وفي بعض الحالات يتم استخدام المرشحات لتنظيف المياه لمنع انسداد أجهزة إضافة المياه في نظم الري بالرش. ويتم تصميم كثير من نظم الترشيح لتوفير تنظيف ذاتي عندما ينخفض الضغط عبر المرشح بما يتجاوز حوالي ٥٠ كيلوبسكال. ويعتمد الفاقد في الضاغط على معدل التصرف ومنحنيات المصنعين التي توضح حدوث فاقد من ١ إلى ١٠٠ كيلوبسكال بالنسبة لمدى من التصرفات.

(١٥,٣) صمامات نظام الري

يقوم الجزء التالي بتوفير الاعتبارات اللازمة للصمامات الخاصة عند القيام بتركيب خطوط الأنابيب المضغوطة. ولابد من الحصول على معلومات تقنية معينة ونصائح للتركيب من مصنعي المعدات. ويمكن في الغالب الحصول على هذه البيانات من مواقع الإنترنت.

(١٥,٣,١) التحكم في الدفق وصمامات عدم الرجوع

تتطلب نظم الري وجود صمامات للقيام بكثير من الوظائف. وهناك عرض لبعض الصمامات الشائعة ووظائفها وتطبيقاتها أدناه. ومن الممكن حدوث ضغط عالٍ ومنخفض غير مرغوب فيه في خط الأنابيب بعد حدوث عطل في مصدر الطاقة. وإن تجهيزات الغلق التي يتم التحكم بها والمؤقتة بعناية على الصمامات عند تصرف كل مضخة سوف يساعد على تقليل ارتفاعات الضغط العالي التي تحدث عندما يتم غلق الصمامات بالكامل. وتعد الضغوط المنخفضة مسببة للمشاكل إذا كانت المياه يتم تبخيرها. وتتكون فقاعات في السائل إذا انخفض الضغط في خط الأنابيب إلى أقل من ضغط بخار الماء، وإذا كانت الفقاعات متصلة ببعضها البعض فربما يكون من الممكن تكوّن جيب من البخار في خط الأنابيب. ويسمى هذا بفصل العمود، وهي حالة لابد من الحذر منها أثناء التدفق. ولا يمكن تصحيح حالة فصل العمود التي تحدث عند معدلات التصرف العالية وظروف الضاغط العالية عن طريق ضبط أزمنة غلق الصمام. وسوف تتطلب صمامات تنفيس الفراغ على امتداد أجزاء خط الأنابيب تقليل فصل العمود.

(١٥,٣,١,١) غرف الدفق

إن غرفة الدفق (الشكل رقم ١٥,٨) هي جهاز التحكم الأكثر ثقة في طرق المياه. والعوامل المستخدمة لتحديد حجم غرفة الدفق المطلوبة - التي يمكن أن تكون كبيرة - هي طول خط الأنابيب، وسعة التصرف القصوى، وسرعة الموجة الصوتية في خط الأنابيب، والقطاع الجانبي للأنبوب، وتوزيع التصرف. ويمكن تحديد الحجم المطلوب فقط عن طريق برامج تحليل الحاسب الآلي، ولكن يمكن تقدير الحجم التقريبي عن طريق:

$$V_T = \frac{QL}{100c} \qquad (١٥,١٨)$$

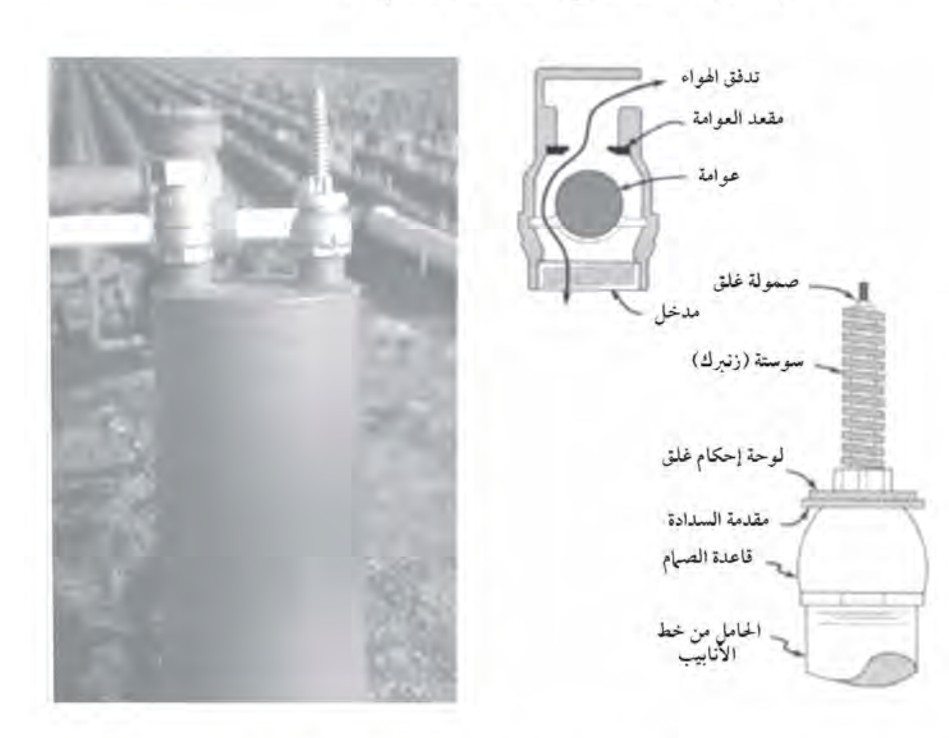
حيث إن :

V_T = الحجم الكلي ، م٣.

Q = التصرف ، لتر/ث.

L = طول خط الأنابيب ، م.

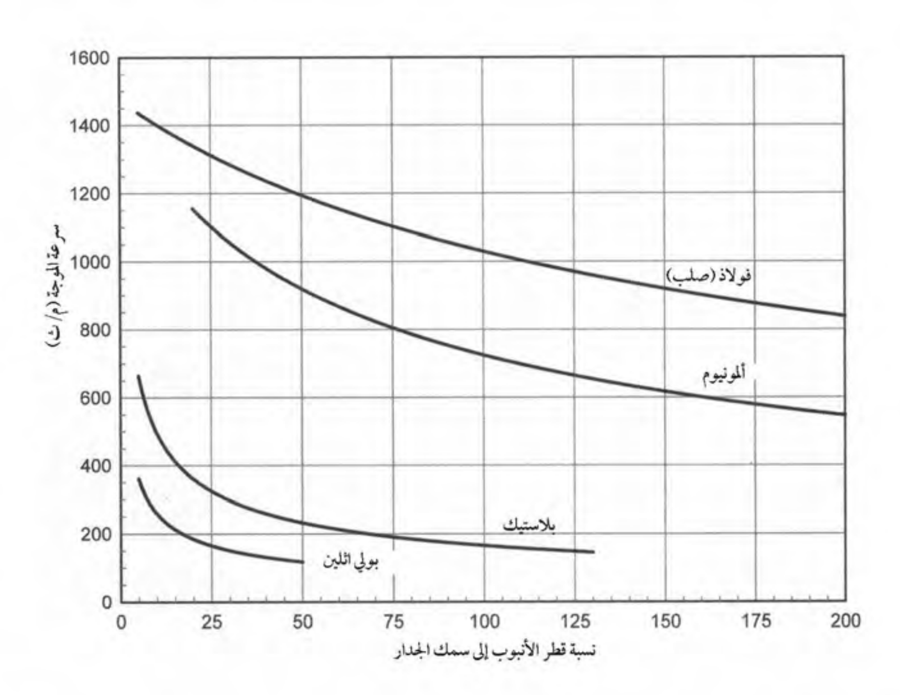
c = سرعة موجة الضغط في خط الأنابيب ، م/ث.



الشكل رقم (١٥,٨). صورة لتركيب خزان الدفق مع الرسم التخطيطي لصمام تنفيس الهواء/ صمام التهوية وصمام تخفيف الضغط.

ويوضح الشكل رقم (١٥,٩) سرعة موجة الضغط كدالة في مادة الأنبوب ونسبة قطر الأنبوب للمواد شائعة الاستخدام في الري. والمعادلات المستخدمة لحساب سرعة موجة الضغط لمواد الأنابيب الأخرى أو درجات الحرارة الأخرى يمكن العثور

عليها في مراجع ميكانيكا الموائع، ولدرجة حرارة المياه تأثير بسيط على سرعة الموجة، ونسبة القطر المستخدمة لتحديد سرعة الموجة هي النسبة بين القطر الداخلي إلى سمك جدار الأنبوب.



الشكل رقم (١٥,٩). سرعة موجة الضغط القائمة على نسبة قطر الأنبوب (في حالة مياه درجة حرارتها ٢٠ درجة مئوية مع وجود وصلات امتداد).

ولا تعمل غرف الدفق بشكل سليم مع وجود صمامات التحكم في خط الأنابيب أو في وجود صمامات التنبؤ بالدفق. ولمنع إجبار التدفق على العودة للخلف من خلال المضخة، من الملائم استخدام صمام كبح متصل مع غرف الدفق على جانب التصرف من المضخات. ويمكن أن تعمل الأحجام المختلفة لمداخل ومنافذ الخطوط على تقليل حجم غرفة الدفق المطلوبة.

تعمل غرف الدفق كمصادر للطاقة حيث تعمل عقب حدوث عطل في مصدر الطاقة الأصلي لامتصاص الصدمات أثناء حدوث حالات دفق زائدة كما يحدث عند بدء تشغيل المضخة أو عند حدوث التدفق العكسي عقب إيقاف المضخة. وعلى نحو مميز، تقوم غرف الدفق بالتخلص من ارتفاعات الضغط الحادة وتعمل على خلق تذبذبات الضغط السلسلة المتحكم بها إلى أن يعمل الاحتكاك على إخماد موجة الضغط المؤقتة.

(١٥,٣,١,٢) صمامات تجمعات الهواء

تسمح صمامات إدخال/إطلاق الهواء (انظر الشكل رقم (١٥,٨)) بدخول الهواء إلى خط الأنابيب عندما ينخفض الضغط لأقل من الضغط الجوي وهواء التصرف (إذا وجد) عندما يصبح الضغط موجباً. ومن الممكن أن تكون الضغوط الموجبة في خط الأنابيب أثناء الدفق أفضل فهماً عن طريق رؤية الضغوط السالبة عند تعليق خيط متدلّ أسفل القطاع الجانبي للأنبوب. ويتم شد الخيط لأعلى إلى الأنبوب عند نقاط التحكم، مثل الخزانات أو صمامات الهواء. والطريقة الوحيدة لمنع انفصال العمود تكون عن طريق جعل الصمامات كبيرة بدرجة كافية لسحب الضغوط لأعلى قريباً من الضغط الجوي عند الصمامات ووضع الصمامات متقاربة بشكل يكفي للاحتفاظ بالضغط المتدلي بين الصمامات عند مستوى آمن. ويجب بشكل طبيعي أن تكون الضغوط فوق ٥٠ كيلوبسكال، مما يؤدي إلى عامل سلامة بحوالي اثنين في تجنب انفصال العمود.

وبشكل عام، فإن إدخال كميات كبيرة من الهواء إلى خطوط الأنابيب ليس ممارسة جيدة. فالتكهفات الهوائية تتكون عند الضغط المنخفض، وهذا يحد من الخصائص الملطفة لصدمات التكهفات عندما تعاود الأعمدة الاتصال. يمكن أن تنتج الضغوط العالية عند تصادم الأعمدة. وبالإضافة إلى ذلك، لابد من طرد الهواء لضمان سلاسة وكفاءة تشغيل خط الأنابيب.

(١٥,٣,١,٣) صمامات التنبؤ بالدفق

تفتح صمامات التنبؤ بالدفق عندما ينخفض الضغط لأدنى من نقطة محددة بعينها. وتظل مفتوحة لفترة سابقة الإعداد من الزمن، ثم تُغلق بطريقة تمنع حدوث

الضغط العالي الناتج من الغلق السريع للصمام. تعمل صمامات التنبؤ بالدفق التي يتم تركيبها بشكل سليم على منع الضغوط العالية في محطات الضخ، ولكن يكون لديها مقدرة ضعيفة على التخفيف من انفصال العمود، وخاصة في خطوط الأنابيب الطويلة. وعلاوة على هذا، لابد من إعداد تحركات الصمام بعناية، وإلا فمن الممكن أن تسبب مزيداً من مشكلات طرق المياه (التكهف) الأكثر خطورة أكثر مما تفيد. ويمكن كذلك وضع صمامات التنبؤ مفتوحة عندما يتجاوز الضغط في الخط قيمة سابقة الإعداد، وبالتالي تعمل كصمام لتخفيف الدفق.

(١٥,٣,١,٤) صمامات تخفيف الدفق

تتكون صمامات تخفيف الضغط من لوح سدادة متحرك مثبتاً في مكانه بزنبرك وصمولة غلق كما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٨). وعندما يقوم الضغط الموجود في خط الأنابيب ببذل قوة على لوح السدادة بحيث يمكن للزنبرك مقاومتها فإن لوح السدادة يرتفع ويسمح لضغط المياه العالي بالخروج من خط الأنابيب. ويمكن أن تعمل صمامات تخفيف الدفق أو الضغط على تقليل ضغوط الدفق القصوى إذا تم ضبطها بشكل سليم. وهي تفتح عند مستوى ضغط سابق الإعداد تقوم بإطلاق ضغط زائد عند نقطة حرجة في خط الأنابيب، وفي الغالب عند تصرف المضخات. ومثل صمامات التنبؤ بالدفق، لا يمكن أن تمنع صمامات تخفيف الدفق حدوث فصل العمود.

(١٥,٣,١,٥) صمامات عدم الرجوع

تعمل صمامات عدم الرجوع على منع أو على الحد من التدفق العكسي ولابد أن يتم تصميمها لمنع الانغلاق بعنف. فالضوضاء الزائدة والارتفاعات في الضغط عند الغلق النهائي تعدان نتيجتين سلبيتين للصمامات التي تنغلق بعنف. وتعد صمامات عدم الرجوع متاحة بأنواع، وأشكال، وأسماء كثيرة العدد جداً. ونقوم لاحقاً بإيجاز السمات المرغوبة وغير المرغوبة للأنواع الخمسة الرئيسة من صمامات عدم الرجوع: صمام متأرجح (إما مفرد القرص أو مزدوج القرص)، وصمام القرص المائل، والصمام الصامت (قفاز، أو قرص، أو كرة)، وصمام بقرص تحكم، وصمام القدم.

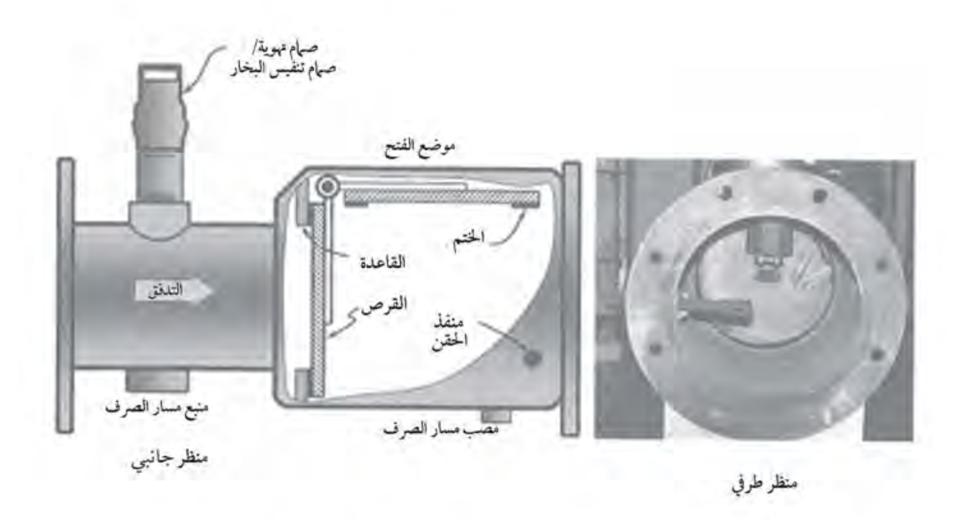
وربما تبدو الأنواع المختلفة من صمامات التفتيش مختلفة الشكل، ولكن جميعها يقوم بنفس الوظيفة الرئيسة، فهي تعمل على تسهيل التدفق في اتجاه واحد وتتحكم في عدم عودة التدفق للخلف. ويتم تركيب صمامات عدم الرجوع بشكل شائع على جانب التصرف من المضخة. والدور الأكثر أهمية لصمام عدم الرجوع هو العمل كصمام غلق آلي عندما تتوقف المضخة عن العمل. وهذا يمنع جفاف النظام الذي تقوم المضخة بملئه. ولكن لكل صمام تفتيش خصائص غلق مختلفة.

ويمكن أن يتم تقليل اندفاع الضغط (طرق الماء) بشكل كبير عن طريق اختيار صمام عدم الرجوع الصحيح. فعلى سبيل المثال، تقوم صمامات عدم الرجوع الصامتة بالغلق السريع جداً، في زمن قدره ١/١٠ إلى ١/٢٠ من الثانية، مما يجعلها أجهزة حماية دفق ممتازة عندما تقوم بالضخ على مسافات قصيرة (أقل من ٨٠٠ م). وبالعكس، لصمام عدم الرجوع بقرص التحكم سرعة غلق بطيئة للغاية ومتغيرة، وهي تعد أجهزة حماية دفق ممتازة عندما تقوم بالضخ لمسافات طويلة (أكثر من ٨٠٠ م).

(١٥,٣,٢) مقارنة بين صمامات عدم الرجوع

(١٥,٣,٢,١) صمام عدم الرجوع المتأرجح (مفرد القرص)

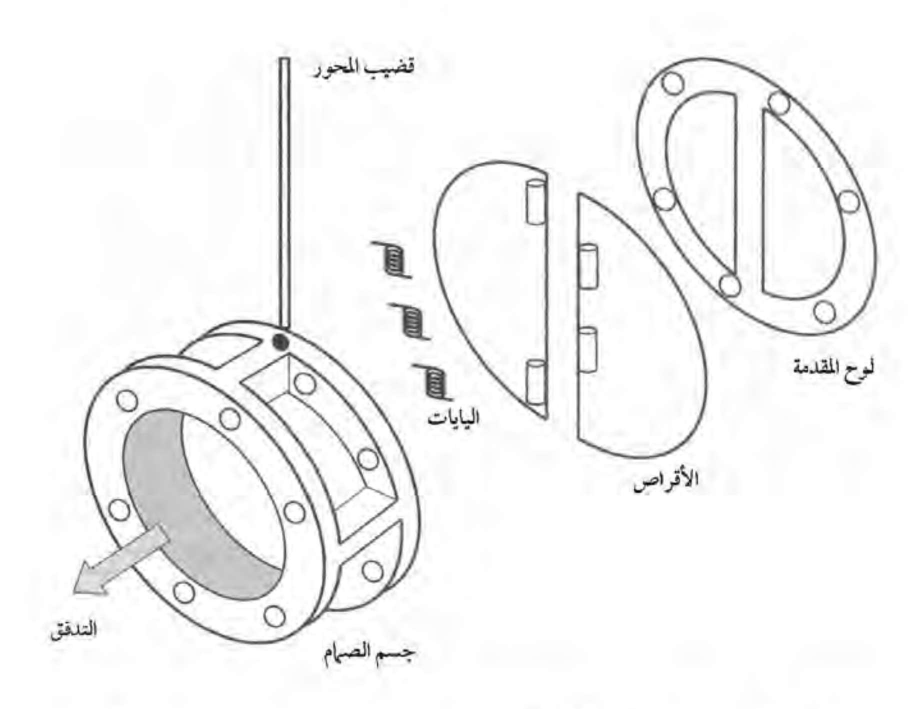
تعتمد صمامات عدم الرجوع المتأرجحة (الشكل رقم ١٥,١٠) على الجاذبية والتدفق العكسي لتقوم بغلق الصمام وإيقاف التدفق العكسي، وتشتمل كثير من النماذج على زنبرك للمساعدة في غلق الصمام. وتقع نقطة المحور من صمام عدم الرجوع المتأرجح خارج محيط القرص وكلما كان الضاغط أكبر كان احتمال أن يتدفق المائع للخلف من خلال الصمام قبل أن يمكن غلق القرص. وللعمل على تأثير الغلق التام، فلابد أن يتحرك قرص صمام عدم الرجوع المتأرجح عبر قرص زاويته ٩٠ درجة إلى قاعدة الصمام. وبدون مقاومة قوة القرص الدافعة لأسفل، فإن الغلق يؤدي إلى الغلق العنيف واحتمال تلف بسبب طرق المياه. ولابد من اتخاذ الحيطة عند استخدام هذا النوع من صمامات عدم الرجوع عندما تتجاوز السرعات ١ م/ث من التدفق العكسي وعندما تكون الضغوط أكبر من ٢٠٠ كيلوبسكال.



الشكل رقم (١٥,١٠). رسم تخطيطي وصورة لصمام عدم الرجوع المتأرجح مفرد القرص.

(١٥,٣,٢,٢) صمام عدم الرجوع المتأرجح مزدوج القرص (قرص منقسم متأرجح)

يشبه صمام عدم الرجوع المتأرجح مزدوج القرص (الشكل رقم ١٥,١١) صمام عدم الرجوع المتأرجح المعتاد (مفرد القرص) ما عدا أن القرص المفرد يتم تقسيمه لاستخدامه في الصمام مزدوج القرص. ويعمل تقسيم القرص على تقليل كتلة القرص ومسافة التحرك من موضع الفتح إلى الغلق. وتنتج مزيد من التحسينات من زنبركات الالتواء التي تعمل على إجبار الأقراص المزدوجة أن تنغلق مع حدوث أقل قدر من التدفق العكسي. وبالمقارنة بصمام عدم الرجوع المتأرجح المعتاد، يكون دبوس المفصل ثابتاً ويقوم كل قرص بالتأرجح بحرية عند الفتح والغلق. ويتم استخدام عديد من الزنبركات على الصمامات الأكبر حجماً لتعويض الأقراص الأكثر ثقلاً ولتحسين سرعة الغلق.



الشكل رقم (١٥,١١). رسم تخطيط لمكونات صمام عدم الرجوع المتأرجح مزدوج القرص.

(١٥,٣,٢,٣) صمام عدم الرجوع بالقرص المائل (مع محور مركزي خارجي).

صمامات عدم الرجوع بالقرص المائل لها مساحة تدفق كبيرة عبر أجزاء القرص والقاعدة. وتقع محاور القرص بعيداً عن المركز، مع وقوع تقريباً ٣٠٪ من مساحة القرص فوق نقطة المحور مما يقدم مقاومة ضد ٧٠٪ من مساحة القرص أسفل نقطة المحور. وبالتالي، فإن هذا النوع من صمامات عدم الرجوع يكون لديه خصائص غلق بدون عنف مثبتة به. وتبلغ زاوية قاعدة الغلق ٥٥ درجة. ويتأرجح القرص لينفتح بزاوية قدرها ٥٥ درجة من زاوية القاعدة، ويتحرك لمسافة قصيرة، ويتوقف عند زاوية قدرها ١٥ درجة مع الأفقي مع الأفقي. ولذلك، يتحرك القرص فقط لمسافة قصيرة، بما يسمح بأقل قدر من التدفق العكسي وأقل قدر من الانغلاق غير العنيف.

(١٥,٣,٢,٤) صمام عدم الرجوع الصامت

صمام عدم الرجوع الصامت له صمام قفاز مثبت به بحيث يكون الزنبرك محملاً ومغلقاً بشكل طبيعي. والخاصية التي تتسبب في غلق الصمام الصامت هي علاقة الصمام القفاز بالقاعدة عندما تكون في وضع مفتوح. وهذه المسافة تساوي تقريباً ربع (١/٤) حجم الصمام، وبتعبير آخر، لصمام طوله ١٠٠مم مسافة قدرها ٢٥ مم للانغلاق. وإن تحرك الصمام القفاز لمسافة قصيرة واقترانها مع قوة الزنبرك هو ما ينتج الغلق الصامت. ويتراوح الزمن التقريبي للانغلاق بين ١/٢٠ و١/١٠ من الثانية. ويتم تزويد صمام عدم الرجوع الصامت بزنبركات، مما يؤدي إلى تقليل أي احتمال للتدفق العكسي وتقليل طرق المياه (التكهف) أو دفق الضغط.

(١٥,٣,٢,٥) صمام عدم الرجوع بقرص التحكم

يعد صمام عدم الرجوع بقرص التحكم تعديلاً فريداً لصمام عدم الرجوع بالقرص المائل. فكل صمامات عدم الرجوع سالفة الذكر تقوم بالفتح والغلق عندما يبدأ تدفق المياه من المضخة وعندما يتوقف. ويكون فتح وغلق القرص، أو الصمام القفاز، أو الجزء المتحرك غير متحكم به. وينصح باستخدام صمام عدم الرجوع بالقرص المتحكم حيث يكون التحكم في تدفق المضخة ضرورياً لمنع دفقات الضغط عندما يبدأ التدفق أو يتوقف في خط الأنابيب. ويمكن التحكم في قرص الصمام كهربياً للسماح بالتشغيل عن بعد لمحطات الضخ الآلية. وإن وظائف الصمامات كصمامات غلق، تنفتح بشكل بطيء بعد بدء التدفق وتنغلق بشكل بطيء عند توقف التدفق ليتم غلق صمام عدم الرجوع بقرص التحكم. وينغلق الصمام آلياً إذا تم قطع مصدر الطاقة الكهربية. ويعد هذا النوع من الصمامات متاحاً مع سبل تحكم هيدروليكية ومؤشرات موضع على القرص. ويمكن تحقيق وظائف تحكم مماثلة باستخدام صمامات فراشة يتم تشغيلها بالأسطوانة أو الموتور.

(١٥,٣,٢,٦) صمامات القدم

يعد صمام القدم أحد أشكال صمامات عدم الرجوع الذي يتم تركيبه عند قاع خط سحب المضخة وتحت سطح المياه. وتعد صمامات القدم طريقة غير باهظة الثمن لمضخات الطرد المركزي الرئيسة. ويتم تركيب صمامات القدم في الموضع الرأسي مع وجود اتجاه التدفق لأعلى. وفي هذا الموضع، يكون صمام القدم في الوضع الطبيعي مغلقاً. ومن الضروري القيام بملء خط السحب بالمياه قبل بدء تشغيل مضخة الطرد المركزي. وبمجرد أن يمتلئ خط السحب، يبدأ عمل صمام القدم وينفتح أثناء عمل مضخة الطرد المركزي وينغلق عند توقف المضخة عن العمل. وهذا يعمل على الحفاظ على سحب غزير ومضخة ممتلئة. وحيث إن صمامات القدم تكون بشكل مستمر منغمرة بالمياه ولا يسهل الوصول إليها للقيام بالتفتيش عليها أو إصلاحها، فيصبح من الهام القيام باختيار نوع من الصمامات عالية الجودة لا تبلى سريعاً.

(١٥,٣,٣) نظرية واستخدام صمامات الهواء

(١٥,٣,٣,١) صمامات إطلاق الهواء

ينفصل الهواء المحتوى في المياه المنقولة عن السائل ويتجمع عند النقاط العالية داخل خط الأنابيب، وإذا لم يتم القيام بوضع تجهيزات لإزالة الهواء من النقاط العالية، فسوف تتجمع جيوب من الهواء ويزداد حجمها. وسوف يعمل نمو الجيب الهوائي على تقليل مساحة تدفق السائل الفعالة، مما يكوّن تأثيراً خانقاً مشابهاً للصمام المغلق جزئياً. وفي الغالب، سوف تكون سرعة السائل كافية لنقل جزء من جيب الهواء متنامي الحجم خلف السريان وسوف يتجمع الهواء عند نقطة عالية أخرى. إن مقدرة سرعة التدفق على موازنة حجم جيوب الهواء ربما تعمل على تقليل تأثير مساحة التدفق المتقلصة في الأنبوب، ولكن التأثير الخانق الذي يتسبب فيه وجود الهواء سوف يعمل دائماً على تقليل معدل التدفق لأقل من المعدل الوارد في التصميم. وتعد مشاكل جيوب الهواء صعبة التحري عنها، ولكن إذا تم السماح لها بالاستمرار فربما تكوّن استنفاداً مستمراً للطاقة.

وإن صمامات إطلاق الهواء التي يتم تركيبها عند النقاط العالية من النظام سوف تنغلق عندما تمتلئ بالسائل وعندها تكون معرضة للضغط. وأثناء تشغيل النظام، فإن جزيئات صغيرة من الهواء سوف تنفصل عن السائل وتدخل إلى الصمام. وسوف يحل كل جزيء من الهواء محل مقدار مساوي من السائل داخل الصمام ويقل منسوب السائل بالنسبة إلى الطفو. وعندما ينخفض منسوب السائل إلى نقطة بحيث لا يصبح الطفو قادراً على التعويم، فإن الطفو سوف ينخفض. وهذا الفعل يعمل على فتح فوهة الصمام ويسمح بإطلاق الهواء الذي تجمع في الجزء العلوي من الصمام ليتم إطلاقه في الهواء الجوي. وبإطلاق الهواء، يرتفع منسوب السائل داخل الصمام مرة أخرى، رافعاً الطفو ومغلقاً لفوهة الصمام. وتكرر الدورة نفسها بتكرار تجمع الهواء في الصمام.

(١٥,٣,٣,٢) صمامات الهواء والبخار

يعمل صمام الهواء والبخار (AVV) بالطفو مع وجود فوهة تصرف كبيرة تساوي في الحجم مدخل الصمام. ويسمح هذا الصمام بتفريغ أحجام كبيرة من الهواء ودخولها إلى النظام أثناء ملئها أو تصريفها. وتسود الظروف التالية عند استخدام صمامات الهواء والبخار AVV في خطوط الأنابيب:

- قبل الملء، من الممكن اعتقاد أن خط الأنابيب يكون فارغاً، ولكن هذا غير صحيح. ففي الحقيقة يكون ممتلئا بالهواء. ولابد من إخراج الهواء من خط الأنابيب بأسلوب سلس ومنتظم لمنع دفقات الضغط وأي ظواهر مدمرة أخرى.
- لمنع الفراغات المدمرة المحتملة من التكوّن، لابد من إعادة دخول الهواء إلى خط الأنابيب نتيجة للضغط السالب. وحتى في تلك الحالات حيث لا تكون الحماية من الفراغ مشكلة رئيسية، تظل إعادة دخول الهواء حيوية للتصريف الفعال لخط الأنابيب ولمنع فصل عمود المياه، الذي يمكن أن يكون مدمراً بنفس قدر دفقات الضغط.

وللقيام بالوظائف المذكورة، لابد من تركيب صمام الهواء والبخار AVV عند كل نقطة عالية أو عند كل تغير في الميل، وعند نهايات خطوط الأنابيب، وعند صمامات العزل.

وعند امتلاء خط الأنابيب يتم إخراج الهواء إلى الغلاف الجوي من خلال صمام الهواء والبخار AVV. وبإخراج الهواء، تدخل المياه إلى الصمام وترفع الطفو قريباً من فوهة الصمام. إن المعدل الذي يتم عنده إخراج الهواء يعد دالة في الفرق في الضغط الذي يتطور عبر فوهة تصرف الصمام. وهذا الاختلاف في الضغط يتطور عند امتلاء خط الأنابيب بالمياه ويعمل على انضغاط الهواء بدرجة تكفي لتوفير سرعة هروب مساوية لسرعة المائع الداخل. وحيث إن حجم الصمام يتحكم في الفرق في الضغط الذي يتم عنده إخراج الهواء، فإن اختيار حجم الصمام يعد عاملاً مهماً.

وإذا كان الضغط الداخلي في خط الأنابيب قريباً من قيمة سالبة عند أي زمن أثناء تشغيل النظام نتيجة لفصل العمود، أو تصريف خط الأنابيب، أو انقطاع إمداد الطاقة، أو انكسار خط الأنابيب، فإن الطفو سوف ينخفض على الفور من الفوهة ويسمح للهواء بمعاودة الدخول إلى خط الأنابيب. وسوف تمنع إعادة دخول الهواء الفراغ من الحدوث وتعمل على حماية خط الأنابيب من الانهيار أو تمنع حدوث فصل العمود. سوف يعمل حجم صمام الهواء والبخار AVV على تحديد الدرجة التي يتم بها منع تكوّن الفراغ، وبالتالي، يعد اختيار حج الصمام عاملاً هاماً. إن صمام الهواء والبخار AVV، الذي تم فتحه لتقبل الهواء في داخل خط الأنابيب استجابة للضغط السالب، يكون الآن جاهزاً مرة أخرى لإخراج الهواء. وسوف تتكرر هذه الدورة عند الضرورة.

وأثناء تشغيل النظام وفي الوقت الذي يكون فيه معرضاً للضغط سوف تدخل كميات صغيرة من الهواء إلى صمام البخار والهواء AVV من خط الأنابيب وتحل محل المائع. وفي النهاية، من الممكن أن يمتلئ صمام الهواء والبخار AVV بالكامل بالهواء ولكنه لن ينفتح لأن ضغط النظام سوف يستمر في إبقاء الطفو قريباً من فوهة الصمام. وللتكرار، يتم تصميم صمام الهواء والبخار AVV لإخراج الهواء أثناء امتلاء خط الأنابيب ولتقبل الهواء أثناء تصريف خط الأنابيب. ولن ينفتح ويقوم بتصريف الهواء عند تراكمه أثناء تشغيل النظام بل يتم استخدام صمامات إطلاق الهواء لهذا الغرض.

(١٥,٣,٣,٣) صمامات الهواء التجمعية

تتكون صمامات الهواء التجمعية من الطفو الذي يتحرك بشكل رأسي داخل الصمام للتحكم في التصرف ودخول الهواء إلى خط الأنابيب (الشكل رقم ١٥,١٢). وكما يتضمن اسمه، فإن صمامات الهواء التجميعية (CAVs) لها سمات تشغيل تشمل كلا من سمات صمامات الهواء والبخار، وصمامات إطلاق الهواء. وتسمى صمامات الهواء التجميعية CAVs أيضاً بصمامات الهواء مزدوجة الفوهة. ويتم تركيب صمامات الهواء التجميعية عند النقاط العالية من النظام والتي تم تحديدها بحيث يكون هناك حاجة للغرض المزدوج لصمامات الهواء والبخار، وصمامات إطلاق الهواء لتهوية وحماية خط الأنابيب. وبشكل عام، فمن الممارسات الهندسية الصحيحة استخدام صمامات الهواء التجميعية CAVs بدلاً من صمامات الهواء والبخار أحادية الغرض عند النقاط العالية.



الشكل رقم (١٥,١٢). صورة لصمام الهواء التجميعي عندما يكون الطفو في الوضع السفلي وعندما يرتفع ليعمل بطريقة مستمرة.

وتمنع صمامات الهواء التجميعية تراكمات الهواء عند النقاط العالية داخل النظام من خلال إخراج كميات كبيرة من الهواء عند امتلاء النظام وعن طريق إطلاق جيوب متراكمة من الهواء أثناء تشغيل النظام تحت ضغط. إن صمامات الهواء التجميعية تعمل كذلك على منع تكون الفراغات محتملة التدمير عن طريق السماح بدخول الهواء إلى النظام أثناء انقطاع مصدر الطاقة، أو فصل عمود المياه، أو حدوث صرف مفاجئ لخط الأنابيب.

(١٥,٤) توزيع المياه في التربة

إن الهدف من استخدام الري الدقيق هو إضافة المياه للنباتات الفردية بمعدلات بطيئة بدرجة كافية لمنع انتقال المياه من مكان لآخر على السطح. ويتم ري محاصيل الأشجار في الغالب باستخدام منقطات تقوم بإضافة المياه تحت ظلة النبات، بينما يتم إضافة المياه مع محاصيل الصفوف قريباً من النبات أو في الخط لتوفير المياه المطلوبة للإنتاج، ولكن التي تعمل على تقييد التبخر من سطح التربة المبلل. وتعمل نظم الري الدقيق المدفونة على تقليل تبخر سطح التربة في الوقت الذي تعمل فيه على توفير كميات كافية من المياه لأجل نمو النبات. وبالعكس، يكون الهدف من استخدام نظم الري بالرش هو التوزيع المنتظم للمياه فوق المنطقة لأجل استخدام المحصول لها. ولابد من تصميم نظم الري بالرش لإضافة المياه بمعدل أقل من معدل التسرب لمنع الجريان السطحي. وتعتمد انتظامية إضافة المياه لنظام الرش بدرجة أقل على ديناميكا الرشاشات المنفردة وبدرجة أكبر على المسافات البينية وضغط التشغيل. فالمسافات بين الرشاشات، وفي الأنظمة المتحركة سرعة الحركة ومسار الحركة يؤثرون على انتظامية الري. وسيتم مناقشة تأثيرات الرياح والتبخر على الانتظامية بتفصيل أكبر في الفصل السادس عشر.

(١٥,٥) إعادة توزيع المياه في التربة

يتم تقييم انتظامية نظم الري بالرش عادةً على أساس التوزيع على سطح التربة. والمحصول، مع هذا، يعتمد على المياه المتاحة في منطقة الجذور. وسوف تتحرك المياه

داخل قطاع التربة نتيجة للميول المحتملة، ويكون لجذور النباتات توزيع أفقي. وقام هارت (1972) Hart بتحليل إعادة التوزيع تحت السطحي، باستخدام حلول نهائية الاختلاف لمعادلة الانتشار ثنائية البعد. وقد استنتج أن هناك توزيعاً تبادلياً داخل ١ م وتوزيع مياه تربة نهائي داخل تلك المسافة (كما هو موضح في الشكل رقم (٦,٦)). وينتج نقص قدره ١٠٪ في متطلبات المياه الكلية نتيجة لإعادة توزيع مياه التربة لحقل اختبار واحد. وعند تواجد عدم الانتظامية عبر مدى مسافة أكبر من ١ إلى ٣ م، فإن إعادة التوزيع تحت السطحي سوف يكون لها تأثير ضعيف على الانتظامية الكلية لمياه التربة.

وقدر سيجنر (1978) Seginer صافي خسارة قدره ١٨٠ دولار لكل هكتار في إنتاج القطن لنقص قدره ٠,١ في معامل الانتظامية نتيجة للإضافة غير المنتظمة للمياه. وتعد عدم الانتظامية الفعالة للمحاصيل المتنوعة دالة في نطاق نمو الجذور الأفقي للنباتات الفردية. وقام سيجنر (1979) Seginer بتحليل الزيادة في الانتظامية الفعالة لتوزيع المياه في بساتين الفاكهة مع وجود تنوع من الأشجار وتنوع من تباعد الرشاشات وزيادة محسوبة في الانتظامية الفعالة قدرها ٠,١. وتعد الانتظامية "الفعلية" مناسبة "لتحديد" النباتات التي يكون لها توزيع جذور أفقي محدود. وقد وجد أيضاً أنه عندما تكون الصفوف موازية للمسافات بين الرشاشات الأقصر في نظم إعداد التربة، فمن الممكن الحصول على انتظامية أكثر فاعلية.

وتقوم نظم الري الدقيق بشكل عام بإضافة المياه مباشرةً إلى منطقة الجذور. ولكن، في بعض الحالات لا تعتمد المسافة بين المنقطات على الحركة الأفقية ليصبح متاحاً لنظام الجذور. وهذا صحيح بشكل خاص بالنسبة لمحاصيل الصفوف حيث لا يتم وضع المنقطات في كل صف وإنما بينها أو وسط المسافة بين كل صفين.

(٦,١٥) ملخص

يعتمد تصميم وتشغيل نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق على الاختيار الصحيح وانتقاء المكونات، والذي يعتمد على توزيع ضغط المياه عبر النظام بأكمله.

ويناقش هذا الفصل هيدروليكيا الخطوط الرئيسة وخطوط الأنابيب الفرعية، وأداء أجهزة تنظيم الضغط، وخصائص الصمامات وحماية خطوط الأنابيب شائعة الاستخدام في نظم الري المضغوطة. وهناك عرض لأشكال ورسومات بيانية للاستخدام في التصميم والتشغيل، وهذا يؤثر على مقدرة التربة على إعادة توزيع مياه التربة وكذلك هناك عرض موجز لتأثير انتظامية إتاحة المياه للنباتات.

قائمة الرموز

a_1, b_1 معاملات معادلة تصرف الرشاش.

C معامل خشونة الأنبوب بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام.

c سرعة موجة الضغط في خط الأنابيب، م/ث.

C_d معامل التصرف بالنسبة لتصرف الرشاش.

D القطر الداخلي للأنبوب، م.

D_n قطر الفوهة، مم.

d_1, d_2 معاملات معادلة هيزن-ويليام ومعادلة سكوبي.

e الخشونة المطلقة لجدار الأنبوب الداخلي، مم.

E_i المنسوب عند المدخل i من خط الأنابيب، م.

E_{i-1} المنسوب عند المخرج i من خط الأنابيب، م.

f معامل دارسي-ويسباك للمقاومة.

F معامل التصحيح للفقد في الضغط الجانبي عندما يكون الرشاش الأول على مسافة من المدخل تساوي المسافة بين الرشاشات.

F' معامل التصحيح للفقد في الضغط الجانبي عندما يكون الرشاش الأول على مسافة من المدخل تساوي نصف المسافة بين الرشاشات.

g عجلة الجاذبية، ٩,٨١ م/ث^2.

H_a متوسط ضاغط الضغط على امتداد الخط الفرعي للرشاش، م.

H_d متوسط ضاغط الضغط عند النهاية القصوى من الخط الفرعي للرشاش، م.

h_f الفاقد في الضاغط، م.

h_{fi} فاقد الضاغط نتيجة للاحتكاك في جزء من الأنبوب، م.

H_{i-1} ضاغط الضغط عند مدخل جزء من الأنبوب، م.

H_L ضاغط الضغط عند المسافة القطرية L من نقطة المحور، م.

H_{max} أقصى ضاغط ضغط على امتداد الخط الفرعي للرشاش، م.

H_{min} أدنى ضاغط ضغط على امتداد الخط الفرعي للرشاش، م.

H_o ضاغط الضغط عند المدخل إلى الخط الفرعي أو المحور، م.

h_r فاقد الضاغط في حامل الرشاش، م.

H_x ضاغط الضغط عند نصف القطر x من المحور، م.

K_s معامل التأخر بالنسبة لمعادلة سكوبي.

L طول الأنبوب، م.

L نصف قطر المساحة المروية، م.

m الأس في معادلة الفاقد بالاحتكاك.

N عدد الرشاشات عل الخط الفرعي.

P الضغط في خط الأنابيب، كيلوبسكال.

P_d الضغط عند نهاية الخط الفرعي للرشاشات، كيلوبسكال.

P_{min} أدنى قيمة لمتوسط الضغط على الخط الفرعي للرشاشات، كيلوبسكال.

Q التصرف في الأنبوب، م^3/ث أو لتر/ث.

q_s تصرف الرشاش، لتر/ث.

q_d تصرف الرشاش الأخير على الخط الفرعي للرشاشات، لتر/ث.

Q_x التصرف في الخط الفرعي عند نقطة على امتداد الخط الفرعي لتر/ث أو م^3/ث.

R_e رقم رينولد.

S_f الميل المنتظم للخط الفرعي من المدخل، م/م.

V سرعة السريان، م/ث.

v اللزوجة الكينيماتيكية، م٢/ث.

V_T الحجم الكلي المطلوب لخزان الدفق، م٣.

x المسافة إلى نقطة من المدخل إلى نقطة على امتداد الخط الفرعي للرشاشات، م.

المراجع

Albertson, M. L., J. R. Barton, and D. B. Simons. 1960. Fluid Mechanics for Engineers. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc.

Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Univ. Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 670.

Chu, S. T., and D. L. Moe. 1972. Hydraulics of a center pivot system. Trans. ASAE 15(5): 894-896.

Hart, W. E. 1972. Subsurface distribution of nonuniformity applied surface waters. Trans. ASAE 15(4): 656-661, 666.

Jensen, M. C., and A. M. Fratini. 1957 Adjusted "F" factor for sprinkler lateral design. Agric. Eng. 38(4): 247.

Keller, J., and R. D. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.

Kincaid, D. C., and D. F Heermann. 1970. Pressure distributions on a center-pivot sprinkler irrigation system. Trans. ASAE 13(5): 556-588.

Liou, C. P. 1998. Limitations and proper use of the Hazen-Williams Equation. J. Hydraulic Eng. ASCE 124(9): 951-954.

Lytle, W. F., and J. E. Winberly. 1962. Head loss in irrigation pipe couplers. Bull. No. 553. Baton Rouge, La.: Louisiana State Univ. and Agric. Mech. College, Agric. Exp. Station.

Meadows, M. E., and T. M. Walski. 1998. Computer Applications in Hydraulic Engineering. Waterbury, Conn.: Haestad Press.

Seginer, 1. 1978. A note on the economic significance of uniform water application. Irrig. Sci. 1: 19-25.

Seginer, 1. 1979. Irrigation uniformity related to horizontal extent of root zone: A computational study. Irrig. Sci. 1: 89-96.

von Bemuth, R. D. 1983. Nozzling considerations for center pivots with end guns. Trans. ASAE 26(2): 419-422.

von Bemuth, R. D., and D. Baird. 1990. Characterizing pressure regulator performance. Trans. ASAE 33(1): 145-150.

الفصل السادس عشر

تصميم وتشغيل نظم الري بالرش

ديريل ل. مارتن (جامعة نبراسكا، لينكولن، نبراسكا)
دينيس س. كينكيد (USDA-ARS، كيمبرلي، أيداهو)
ويليام م. ليل (جامعة تكساس أ وم، لوبوك، تكساس)

ملخص: يتم عرض ومناقشة تصميم وتشغيل نظم الري بالرش في هذا الفصل، إضافة إلى توفير المعلومات المتعلقة بمكونات نظم الري وخصائص النظام التي تؤثر على كفاءة إضافة المياه وانتظاميتها. وسيتم تقييم تفاعل خصائص النظام مع خواص التربة والمحصول نسبة إلى تصميم وتشغيل نظم الري للعمل على تقليل الجريان السطحي، والتسرب العميق، وفواقد البخر المفرطة.

الكلمات الأساسية: كفاءة الإضافة، الري المحوري، الحركة المستقيمة، الجريان السطحي، البكرة الجانبية، الوضع الثابت، الري بالرش، خط السحب، الانتظامية.

(١٦,١) مقدمة

قامت نظم الري بالرش بثورة تطوير الزراعة المروية، وتتضمن إضافة المياه الفعالة باستخدام الري بالرش تصميم وتشغيل المضخات، والأنابيب، وأجهزة الرش لتتوافق مع ظروف التربة والمحصول ومصدر المياه. وبالتالي، يمكن تصميم نظم الري

بالرش وتشغيلها للقيام بري فعال عبر مدى واسع من الظروف. ويعمل الري بالرش أيضاً على تسهيل اتساع الزراعة المروية للأراضي التي تصنف على أنها غير مناسبة للري السطحي. وبشكل أولي فإن العمالة المطلوبة لنقل النظام عبر الحقل أعاقت قبول استخدام الري بالرش. ومن خلال التشغيل الآلي أمكن خفض العمالة المطلوبة للري بالرش بدرجة كبيرة مما ساعد المنتجين على الري بشكل أكثر تكراراً وإضافة كميات أقل من المياه والذي أنهى من غير قصد التسرب وزاد من تخزين مياه الأمطار في منطقة جذور المحصول، وفي نفس الوقت لبى الاحتياجات المائية للمحصول.

وأوضح مورجان (1993) Morgan أن أجهزة الرش استخدمت من وقت مبكر يرجع إلى عام ١٨٧٣م، وبحلول عام ١٨٩٨م سجلت سبع عشرة براءة اختراع لأجهزة الرش، ومنذ تلك البداية المبكرة حدث الكثير من التطوير، وأصدرت براءة الاختراع للرشاشات المضغوطة التي نعرفها اليوم عام ١٩٣٤م. وأنتجت أنابيب الألمونيوم ذات الحشيات المطاطية لأول مرة في فترة الأربعينات في حين تم إنتاج نسخة مبكرة من آلات البكرة الجانبية لأول مرة في حقبة الخمسينات، واخترع النظام المحوري ذاتي الدفع ونظم الحركة المستقيمة في أواخر الأربعينات. واعترف المنتجون بسرعة بأن مراقبة نظام الري يعد أمراً ضرورياً للأداء الصحيح، وتم تركيب أجهزة المراقبة للري بالرش لأول مرة عام ١٩٢٤م.

ووضعت هذه التطورات الأولى الأساس لنمو الري بالرش، وفي أواخر الأربعينات وأوائل الخمسينات بدأ التطور بكد واستمر بزيادات كبيرة في فترة الستينات والسبعينات عندما أضحت النظم الآلية متاحة تجارياً، واستمرت الزيادة في مساحات الأراضي المروية بنظام الري بالرش، ومعظم التطور اليوم مخصص لنظم الري بالرش الآلية وشبه الآلية. وطبقاً لإحصائية هيئة ري مرابي الماشية والمزارع (USDA-NASS, 2003)، استخدم الري بالرش على تقريباً ١٥٪ من الأراضي المروية في الولايات المتحدة (الجدول رقم ١٦,١). وحالياً، تستخدم النظم المحورية تقريباً ٧٩٪ من الأراضي المروية باستخدام الري بالرش. وتستخدم النظم المحورية منخفضة الضغط

بشكل أكثر بقليل من النظم المحورية متوسطة الضغط، واستخدم القليل من النظم المحورية عالية الضغط نسبياً عام ٢٠٠٢.

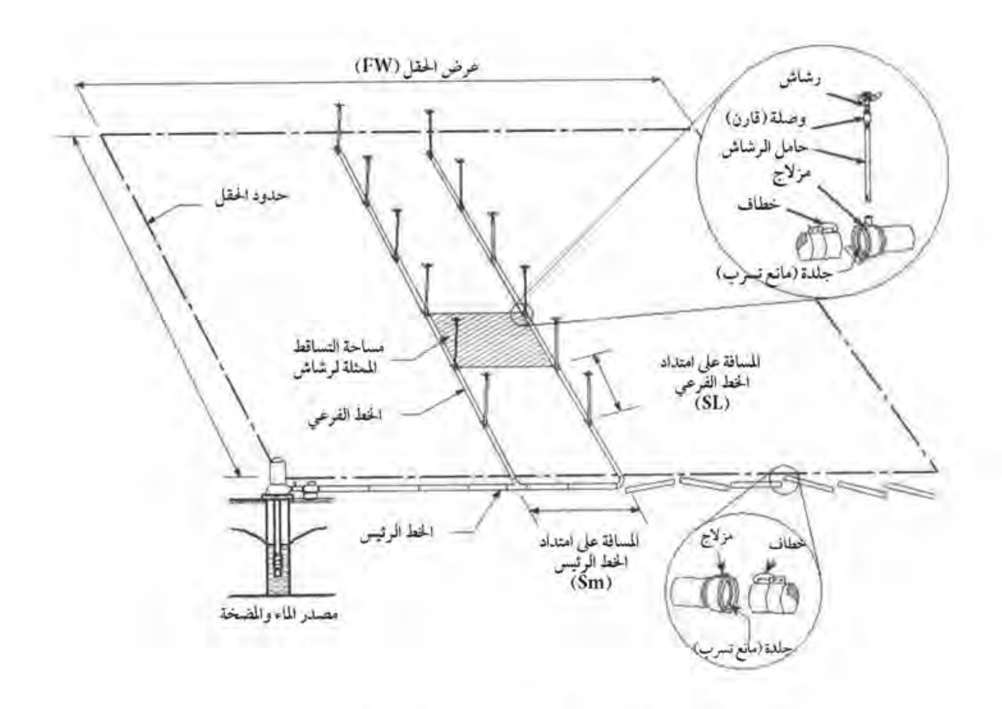
الجدول رقم (١٦,١). توزيع الأراضي المروية بالرش في الولايات المتحدة عام ٢٠٠٢ (المصدر: USDA-NASS, 2003).

النظام	مساحة الأراضي (هكتار) بمدى الضغط		المساحة الكلية	
	أقل من ٢٠٧ كيلوبسكال	من ٢١٠ إلى ٤١٤ كيلوبسكال	هكتار	نسبة الأراضي المروية بالرش
المحوري	٣,٩٢٥,٨٨٣	٣,٩٠٩,٨٦٠ ٧٨٤,٩٤٣	٨,٦٢٠,٦٨٥	٧٩,٠
ذو الحركة المستقيمة	٦٠,٥٥٣	٧٨,٧٨٤	١٣٩,٣٣٧	١,٣
الوضع الثابت	١١٢,٥٥١	٣٦,٣٥٣	٤٧٦,٩٠٤	٤,٤
ذو البكرة الجانبية	--	--	٧٣٩,٢٣١	٦,٨
المتنقل أو المدفعي	--	--	٢٥٦,٣٥١	٢,٤
المنقول يدوياً	--	--	٦٧٣,٤٩٨	٦,٢
الأراضي الكلية المروية بالرش			١٠,٩٠٦,٠٠٦	
الأراضي المروية باستخدام كل أساليب الري			٢١,٢٨٨,٣٣٨	

(١٦,٢) مكونات نظم الري بالرش

تتكون نظم الري بالرش بشكل عام من المضخة المستخدمة لرفع وضغط المياه، ومن خط أنابيب رئيس لنقل المياه من المضخة إلى الخطوط الفرعية المستخدمة لنقل المياه عبر الحقل المروي، وأجهزة رش لإضافة المياه داخل الحقل (الشكل رقم ١٦,١). وفي بعض الحالات يتم تقسيم الخط الرئيس إلى خطوط شبه رئيسة تستخدم لنقل المياه لأجزاء الحقل، ويمكن استخدام خطوط فرعية متعددة إذا كان الحقل كبيراً أو إذا كان الحقل بحاجة إلى أن يتم ريه بشكل متكرر. ويتم تركيب أجهزة الرش على مسافات متساوية على امتداد الخط الفرعي. وغالباً ما يتم استخدام أنبوب يسمى حامل الرشاش لضبط ارتفاع الرشاش على الارتفاع المطلوب لتجنب تداخل المحصول مع

المياه المتدفقة من الرشاش، ولبعض التطبيقات باستخدام النظم المحورية أو نظم الحركة المستقيمة، يتم تعليق الرشاشات أسفل الخط الفرعي باستخدام أنابيب متدلية لتقليل البخر والبعثرة للقطرات الخارجة من الرشاش.



الشكل رقم (١٦,١). المكونات والمخطط العام لنظم الري بالرش.

وتعد المسافات البينية الصحيحة للرشاشات على امتداد الخط الفرعي أمراً ضرورياً لتوفير تداخل كاف للمياه من الرشاشات المتجاورة ولتحقيق الري المنتظم. ويمكن أن تكون الخطوط الفرعية للرشاشات دائمة التركيب كما هو الحال مع نظم الري بالرش الثابتة، أو يمكن أن تكون الخطوط الفرعية متنقلة عبر الحقل. ويمكن أن تنتقل الخطوط الفرعية بشكل دوري من أحد المواقع (غالباً ما يسمى "بالوضع الأول") إلى الموقع التالي كما هو الحال مع نظم الري بالرش المنقولة يدوياً أو أن الخطوط الفرعية

يمكن أن تنتقل بشكل متواصل عبر الحقل كما هو الحال مع النظام المحوري ونظام الحركة المستقيمة. وعندما يتم نقل خط الرش الفرعي بشكل دوري عبر الحقل يجب أن تكون المسافة بين الأوضاع المتعاقبة للخط الفرعي ضيقة بدرجة كافية لتوفير تداخل كافي.

وهناك كثير من الأنواع المتاحة من أجهزة الرش، وبعضها موضح في الشكل رقم (١٦,٢). وتستخدم كل أجهزة الرش فوهات للتحكم في التصرف من الرشاش، ويعمل قطر وشكل فوهة الرشاش وضغط المياه على الفوهة على التحكم في معدل التصرف، وتعمل الفوهة على تحويل ضغط الماء داخل نظام الأنابيب إلى سرعة أثناء خروجه من الرشاش والتي تعمل على دفع القطرات خلال الهواء لتوفير حيز مبلل حول الرشاش، ويحدد تصميم فوهة الرشاش قطر البلل وتوزيع المياه داخل المنطقة المبللة.



الشكل رقم (١٦,٢). أمثلة على الرشاشات المستخدمة في نظم الري.

وكما هو الحال مع أي نظام الري، فلابد من تصميم نظام الرش ليتلاءم مع حدود الحقل. وتحدد أبعاد الحقل فيزيائياً أو اقتصادياً في الغالب نوع نظام الرش الذي يجب استخدامه. وفي نهاية المطاف لابد من أن تتوافق مكونات نظام الرش مع الري بشكل فعال واقتصادي. فالمواصفات غير الصحيحة لأي من المكونات سوف تؤثر سلبياً على النظام بأكمله.

(١٦,٣) أساسيات التصميم

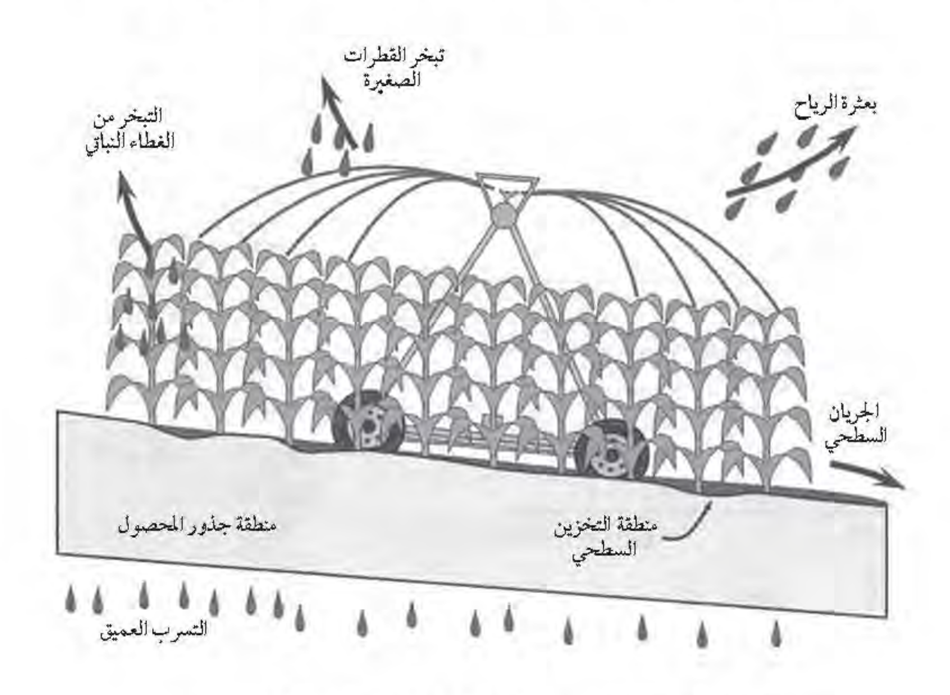
لابد من تصميم نظم الري بالرش لتلبية الاحتياجات المائية للمحصول في الوقت الذي يتم فيه إضافة المياه بمعدل يعمل على تقليل الجريان السطحي والتسرب الزائد. ولتحقيق تلك الأهداف، يجب أن يكون توزيع الضغط في الخط الرئيس للأنابيب والخطوط الفرعية للرشاش ملائماً كما تمت مناقشته في الفصل الخامس عشر. وهناك جهود جارية لتصميم النظم التي تقوم بإضافة أعماق متغيرة من المياه داخل الحقل طبقاً للإدارة الخاصة بالموقع، وحالياً فإن التركيز هو على النظم التي تضيف المياه بشكل منتظم عبر الحقل بأكمله. وهناك مفاهيم عامة تنطبق على تصميم وتشغيل نظم الري بالرش سيتم ذكرها في هذا الجزء، وهناك تفاصيل لنظم محددة سيتم عرضها لاحقاً.

(١٦,٣,١) كفاءة الإضافة

كفاءة الإضافة هي الجزء من المياه المضافة التي تبقى في منطقة جذور المحصول بعد عملية الري، والمياه التي تتسرب وتبقى في منطقة الجذور هي صافي عمق ماء الري، وعليه فإن كفاءة الإضافة هي نسبة صافي عمق الري (d_n) إلى العمق الكلي للمياه المضافة (d_g).

وهناك تمثيل للفواقد المحتملة في الري بالرش موضح في الشكل رقم (١٦,٣)، فبعض من المياه يمكن أن تتبخر قبل أن تصل إلى مظلة المحصول أو إلى سطح التربة، وجزء من المياه يحتجزه الغطاء النباتي بينما تسقط باقي المياه من خلال المظلة إلى سطح التربة. ويمكن الإبقاء على المياه التي يحتجزها الغطاء النباتي فيه، وربما تسقط عبر

سيقان النبات إلى سطح التربة ، أو ربما تسقط عن النبات. وأوضح ستينر وآخرون Steiner *et al.* (1983) أنه في حالة محصول ذرة تام النمو فإن ما يصل من المياه المضافة باستخدام النظام المحوري ليس إلا ٥٠٪ والتي تتدفق على امتداد الأوراق والسيقان إلى الأرض. ويمكن أن تتبخر المياه التي تحتجز و/أو التي تبقى فوق الغطاء النباتي أثناء وبعد الري. ويمكن أن تتبخر المياه التي تصل إلى سطح التربة ، أو تتسرب ، أو تنساب سطحياً ، أو أن يتم تخزينها في مناطق منخفضة (حفر) على امتداد سطح التربة.



الشكل رقم (٣,١٦). رسم تخطيطي لفواقد المياه في حالة الري بالرش.

وعندما يتجاوز التسرب التخزين المتاح في منطقة جذور المحصول ، فإن الإضافة الزائدة سوف تتصرف عبر قطاع التربة مما يسبب التسرب العميق. وقد تم إطلاق اسم على التخزين السطحي المياه المخزونة فوق سطح التربة ، أو تخزين المنخفض ، أو

التخزين المحتجز، وتعد هذه المياه متاحة للتسرب بعد أن يقل معدل إضافة المياه لأقل من معدل تسرب التربة. ويمكن أن تتسرب المياه التي تنساب من نقطة الإضافة إلى موقع آخر في اتجاه السريان ومن الممكن استخدامها. وإذا غادر الجريان السطحي الحقل، فإن المياه تُفقد من الحقل، وإذا تراكم الجريان السطحي في المناطق المنخفضة من الممكن أن يحدث التسرب العميق.

إن نوع النظام، وتصميمه وتشغيله، وظروف التربة والأحوال المناخية في وقت الري تؤثر جميعها على كفاءة الإضافة، ويعتمد تصميم نظم الري بالرش على متوسط كفاءات الإضافة. وهناك إيجاز للكفاءات النمطية مبين في الجدول رقم (١٦,٢).

الجدول رقم (١٦,٢). خصائص نظم الري بالرش (مقتبس من Keller *et al.*, 1980).

نوع النظام	تكلفة التركيب (دولار/ساعة)	التكلفة السنوية للصيانة (٪ من ثمن الشراء)	العمالة لكل عملية ري (ساعة/هكتار)		كفاءة الإضافة (٪)	معامل الانتظامية (٪)
			قبل بداية الموسم	أثناء الموسم		
المنقول يدوياً	٣٠٠	٢	٠,٢٥	١,٧٣	٧٥ – ٦٥	٨٥ – ٧٠
الخط المسحوب	٥٠٠	٣	٠,٢٥	١,٠٠	٨٠ – ٧٠	٨٥ – ٧٠
ذو البكرة الجانبية	٦٧٥	٢	٠,٢٥	٠,٨٦	٨٠ – ٧٠	٨٥ – ٧٠
ذو الحركة المستقيمة		٤	٠,٤٩	٠,٦٢		
الوضع الثابت	٢٠٠٠	٢	٠,٢٥	٠,١٥	٨٥ – ٧٠	٨٥ – ٧٥
المحوري						
القياسي	٨٠٠	٥	٠,١٢	٠,٠٥	٩٢ – ٨٠	٩٥ – ٨٥
مع ري الأركان	٩٢٥	٦		٠,٠٦		
الخط المتحرك						
يغذى من قناة	---		٠,١٢	٠,١٠		
يغذى من خرطوم	١٢٥٠	٦	٠,١٥	٠,١٥	٩٢ – ٨٥	٩٥ – ٨٥
يغذى من أنبوب	---		٠,١٢	٠,٠٧		
المتنقل	٩٠٠	٦	٠,٢٥	٠,٦٢	٧٠ – ٦٠	٨٠ – ٧٠

(١٦,٣,٢) تصرف النظام

إن التصرف المطلوب لنظام الري يعد واحداً من الاعتبارات الأولى في عملية التصميم، ولابد أن يكون التصرف كافياً لتلبية احتياجات المحصول من المياه طبقاً للأحوال المناخية للمنطقة. ونحن نستخدم صافي سعة النظام كمؤشر للإمداد المطلوب لتلبية احتياجات المحصول. وصافي سعة النظام (C_n) هو المعدل الذي يجب إمداد المياه به باستمرار لتلبية احتياجات النبات من المياه.

واستخدم هيرمان وآخرون Heermann *et a1.* (1974) اتزان مياه التربة اليومي لمحاكاة تأثير صافي سعة النظام على محتوى التربة من المياه. ولسعة ما، حسبوا أقصى استنزاف لمياه التربة تم الوصول إليه خلال العام، وقاموا بمحاكاة اتزان مياه التربة لفترة من ٥٩ عاماً لوضع قاعدة بيانات لاحتمالية توزيع متطلب صافي سعة النظام. وتم استخدام نتائج من فون بيرنوز وآخرين von Bernuth *et al.* (1984) لوضع الخطوط الإرشادية للتصميم للري المحوري في نبراسكا (الشكل رقم ١٦,٤). واستخدم هويل وآخرون Howell *et al.* (1989)، ولندستروم وستيقمان Lundstrom and Stegman (1988) إجراءات مماثلة لمناطق أخرى في السهول العظمى.

إن معدل التدفق المطلوب للنظام هو كمية المياه التي يجب أن يتم إمدادها لتجنب الإجهاد المائي. ويُعطى تدفق النظام بالعلاقة:

$$Q_S = 0.116\left(\frac{C_n T_i}{E_a}\right)\left(\frac{A_i}{T_0}\right) = 0.116\left(\frac{d_g A_i}{T_0}\right) \qquad (١٦,١)$$

حيث إن:

Q_S = تدفق نظام الري بالرش (أي، سعة النظام الكلية)، لتر/ث.

C_n = صافي سعة النظام، مم/يوم.

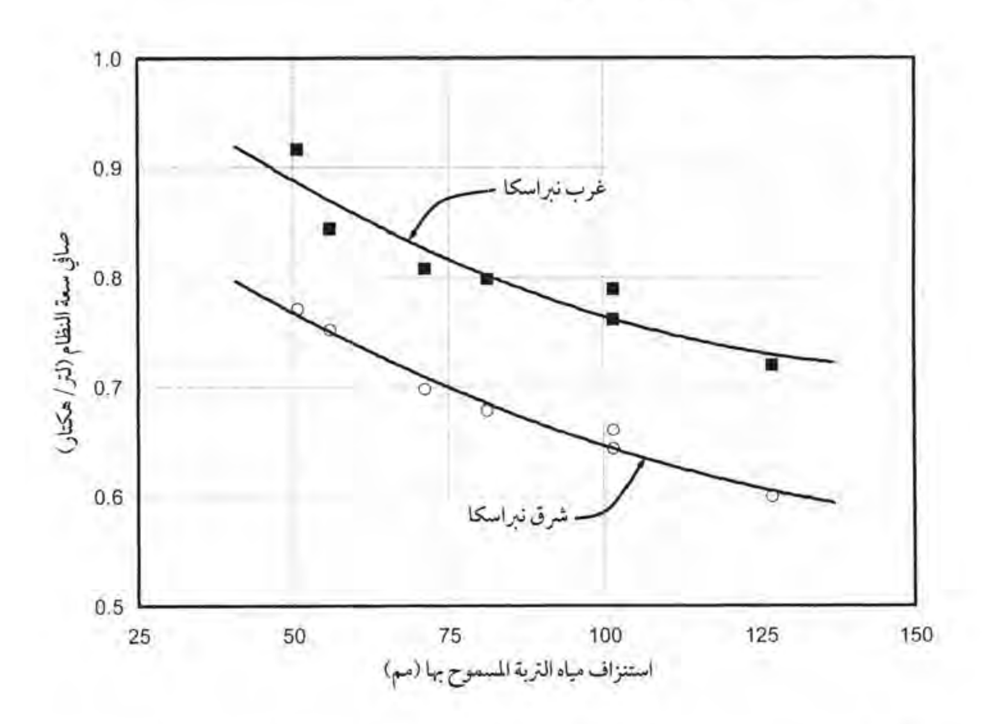
T_i = الفترة بين الريات، يوم.

E_a = كفاءة الإضافة ، كسر عشري.

A_i = المساحة المروية ، هكتار.

T_0 = زمن التشغيل للرية ، يوم.

d_g = العمق الكلي لمياه الري المضافة ، مم.



الشكل رقم (٤,١٦). صافي سعة النظام في حالة استخدام النظام المحوري في نبراسكا (مقتبس من von Bernuth *et al.*, 1984).

والفترة بين الريات هي الزمن منذ بدء الري حتى بداية عملية الري التالية. وتعد الفترة بين الريات في الغالب قيمة اسمية تمثل الممارسات الطبيعية أثناء فترة أقصى احتياجات مائية في موسم الري. وزمن التشغيل هو المقدار الزمني الذي تضاف به المياه

خلال الفترات الزمنية. وهناك أوقات من الممكن فيها أن يتوقف نظام الري لأجل الصيانة، ولإعادة تغيير موضع خطوط الرشاشات الفرعية، أو عمليات الزراعة، أو لوضع وسائل الراحة. ومن الممكن أن يُشار لهذا الزمن بزمن الركود، وهو الفرق بين الفترة بين الريات وزمن التشغيل. فاختيار الفترة بين الريات وزمن الركود لابد من تنسيقه من قبل من يقوم بالتشغيل ولا يجب اختياره عشوائياً من قبل المصمم.

ولا يمكن أن تتجاوز سعة النظام الكلية مجموع إمدادات المياه المتاحة. وإذا كانت متطلبات سعة النظام عالية جداً، فإنه يجب تقليل مقدار المساحة المروية، أو سوف يكون هناك عجز حتمي في الري.

(١٦,٣,٣) تصرف الرشاش

يمكن تحديد التصرف المطلوب للرشاش عن طريق عدد الرشاشات وعدد الخطوط الفرعية داخل الحقل، وفي حالة نظم الوضع الثابت ونظم النقل اليدوي يتم تحديد عدد الرشاشات عن طريق المسافة بين الرشاشات على امتداد الخط الفرعي والمسافة بين الأوضاع على امتداد الخط الرئيس (الشكل رقم ١٦,٢). إن المساحة الممثلة لرشاش واحد هي حاصل ضرب المسافة بين الرشاشات على امتداد الخط الفرعي (S_L) والمسافة بين الخطوط الفرعية أو عرض الوضع (S_m). ويتم تحديد عدد الرشاشات على الخط الفرعي(N) من خلال طول الحقل(F_L)، وعدد الخطوط الفرعية المستخدمة على امتداد طول الحقل (N_L)، والمسافة بين الرشاشات (أي، $N = F_L / N_L S_L$). ويتم تحديد عدد الأوضاع لكل خط فرعي(n) عن طريق عرض الحقل(F_W)، وعدد الخطوط الفرعية على امتداد عرض الحقل(N_s)، والعرض لكل وضع منفرد ($n = F_W / N_s S_m$). ولابد أن يكون عدد الرشاشات لكل خط فرعي وعدد الأوضاع لكل خط فرعي أعداداً صحيحة.

وتعتمد الفترة بين الريات على عدد الأوضاع لكل خط فرعي (n)، والزمن التشغيلي لكل مجموعة على الخط الفرعي (T_s)، والزمن المطلوب لتحريك الرشاش فيما بعد بين الأوضاع(T_m)، وزمن التوقف بين الريات المتعاقبة:

$$T_i = n\left(T_s + T_m\right) + T_d \quad (١٦,٢)$$

وغالباً ما يُشار إلى الدمج بين الزمن التشغيلي والزمن المطلوب للتحرك من وضع إلى الذي يليه باسم زمن الوضع. ولابد من أن يتم اختيار زمن الوضع من خلال استشارة المالك أو المشغل للتوافق مع العمالة المتاحة. وأقل زمن توقف هو الزمن المطلوب لإعادة تحديد مواضع الخطوط الفرعية من الوضع الأخير في الحقل إلى وضع البداية من أوضاع الري التالية. ويمكن كذلك أن يكون هناك وقت إضافي مطلوب للصيانة وللعمليات داخل المزرعة.

إن التصرف من رشاش منفرد ما في مثل هذا النظام يعتمد على (١) عمق المياه التي يجب إضافتها لكل رية، و(٢) المساحة الممثلة لرشاش واحد، و(٣) الزمن الذي تضاف فيه المياه لوضع منفرد، كما يلي:

$$q_s = \frac{1}{3600}\left(\frac{C_n T_i}{E_a}\right)\left(\frac{S_L S_m}{T_s}\right) = \frac{d_g S_L S_m}{3600 T_s} \quad (١٦,٣)$$

حيث إن:

q_s = التصرف من الرشاش الواحد، لتر/ث.

S_L = المسافة بين الرشاشات، م.

S_m = المسافة بين الخطوط الفرعية، م.

T_s = الزمن التشغيلي لكل وضع بالنسبة للخط المفرد، ساعة.

ويمكن أن يروي الرشاش جزءًا من دائرة عند نهاية الخط الفرعي لتوفير ري منتظم بدون إضافة المياه خارج حدود الحقل. ولابد أن يكون التصرف لرشاش طرفي ما جزءًا من تصرف الرشاشات على امتداد الخط الفرعي مبنياً على نسبة جزء الدائرة التي يرويها الرشاش الطرفي إلى الدائرة الكاملة المروية بباقي الرشاشات.

وتصمم بعض نظم الوضع الثابت بحيث تكوّن المساحة بين الرشاشات المتجاورة مثلثاً متساوي الأضلاع. وبالنسبة لهذا الترتيب فإن المسافة بين الرشاشات تساوي المسافة على امتداد الخط الفرعي (S_L) وتكون المسافة بين الخطوط الفرعية هي $S_m = 0.866 \times S_L$. وقد تم إيجاد مزيد من العلاقات في الأجزاء اللاحقة في حالة التصرف من الرشاشات المنفردة لأنواع أخرى من النظم.

ويحدد الضغط المتاح لأداة الرش (الرشاش) والقطر الفعال للفوهة التصرف من الرشاش، وفي حالة الفوهات المستديرة فإن العلاقة تُعطى بالمعادلة:

$$q_s = 0.00111\ C_d D_n^2 \sqrt{P} \qquad (١٦,٤)$$

حيث إن:

q_s = التصرف لكل فوهة، لتر/ث.

C_d = معامل التصرف.

D_n = القطر الداخلي للفوهة، مم.

P = الضغط عند قاعدة الرشاش، كيلوبسكال.

ويعد معامل التصرف، الذي يتضمن خصائص ضاغط الرشاش والفوهة، خاصاً بنوع الرشاش والفوهة. ووضع هيرمان وشتال Heermann and Stahl (2006) معادلات لتقدير معامل التصرف للرشاشات المختارة:

$$C_d = d_0 + d_1 D_n^2 + d_2 P \qquad (١٦,٥)$$

حيث إن d_0، وd_1، وd_2 معاملات عملية، والقيم النمطية لهذه المعاملات واردة في الجدول رقم (١٦,٣) لرشاشات مختارة، ولابد أن يتم إضافة التصرف من فوهة المدى وفوهة الفرش للرشاشات المجهزة بفوهتين. ولأن بعض الفوهات لا تكون ذات فوهة دائرية القطر ويجب استخدام القطر الفعال للفوهة في المعادلة رقم (١٦,٤)، والمعادلة رقم (١٦,٥).

الجدول رقم (٣,١٦). معاملات معامل التصرف (مقتبس من Heerman and Stahl, 2006).

اسم الشركة	رقم الموديل	أدنى ضغط (كيلوبسكال)	d_0	d_1	d_2
مؤسسة نيلسون للري	F32AS	٢٤٥	٠,٩٥٤	$٥,٠٦١\times ١٠^{-٣}$	$١,٨٥٩\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة نيلسون للري	F32S	٢٤٥	٠,٩٥٤	$٥,٠٦١\times ١٠^{-٣}$	$١,٨٥٩\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة نيلسون للري	F33A	٢٤٥	٠,٩٧٦	$-١,٦١٧\times ١٠^{-٣}$	$-٢,٥٦٧\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	F33AS	٢٤٥	٠,٩٧٦	$-١,٦١٧\times ١٠^{-٣}$	$-٢,٥٦٧\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	F33S	٢٤٥	٠,٩٧٦	$-١,٦١٧\times ١٠^{-٣}$	$-٢,٥٦٧\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	F33DN	١٩٦	١,٠١١	$-٢,٢٦٧\times ١٠^{-٤}$	$-٣,٤٤١\times ١٠^{-٤}$
مؤسسة نيلسون للري	F43A	٢٤٥	١,٠١١	$-٤,٨٨٩\times ١٠^{-٣}$	$-٥,٧٣٧\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	F43AP	٢٤٥	٠,٩٥٤	$-٣,٣٦٣\times ١٠^{-٥}$	$-٢,٩٢٨\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	F43P	٢٤٥	٠,٩٧٥	$-١,٣٩٠\times ١٠^{-٣}$	$-٨,٢٣٤\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	F70A	٢٩٤	٠,٩٩٦	$-٢,٠١٨\times ١٠^{-٣}$	$-١,٣٥٧\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	F80A	٣٩٢	٠,٩٩١	$-١,٠٠٢\times ١٠^{-٣}$	$٣,٢١٣\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	R30	١٤٧	١,٠٣٥	$-٢,٨٤٥\times ١٠^{-٣}$	$-١,٣٥٩\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة نيلسون للري	R3000	١٩٦	٠,٢٩٤	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	R30D4	٢٩٤	٠,٩٦٩	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	R30D6	٢٩٤	٠,٩٥٧	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	SPRI	٩٨	٠,٩٨٦	$-٢,٦٩٢\times ١٠^{-٣}$	$-٩,٦٩٦\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة رين بيرد	20	١٩٦	٠,٩٦٦	$-٧,٧٦٨\times ١٠^{-٣}$	$٧,٣٩٤\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة رين بيرد	L20	٢٤٥	١,٠٥٩	$-٢,٣٤١\times ١٠^{-٢}$	$-٤,١٥٤\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة رين بيرد	L2020	٢٤٥	١,٠٨٤	$-١,٥٨٥\times ١٠^{-٢}$	$-٦,٤٦٦\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة رين بيرد	30	٢٤٥	٠,٩٩٥	$-٣,١٤٩\times ١٠^{-٣}$	$-٥,٤٤٩\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة رين بيرد	L30	٢٤٥	١,٠٠٩	$-٩,٩٨٩\times ١٠^{-٣}$	$-٨,٥٧٢\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة رين بيرد	L3030	٢٤٥	١,٠٨١	$-٤,٩٦٢\times ١٠^{-٣}$	$-٦,٤٥٦\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة رين بيرد	35	٢٩٤	٠,٩٥٢	$-٢,٩٠٤\times ١٠^{-٣}$	$-٤,٩٢٧\times ١٠^{-٦}$
مؤسسة رين بيرد	40	٢٤٥	١,٠٠٠	$-٢,٦٥٦\times ١٠^{-٣}$	$٤,٣٥٨\times ١٠^{-٦}$

تابع الجدول رقم (١٦,٣).

اسم الشركة	رقم الموديل	أدنى ضغط (كيلوبسكال)	d_0	d_1	d_2
مؤسسة رين بيرد	65	٣٩٢	٠,٩٨٤	$-٣,٠٦١\times ١٠^{-٣}$	$٧,٥٤١\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة رين بيرد	70	٣٩٢	١,٠٠٢	$-٣,٧٨٠\times ١٠^{-٣}$	$٦,٠٨٥\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة رين بيرد	85	٢٤٥	٠,٩٦٠	$-١,٢٧٨\times ١٠^{-٣}$	$٣,٣٠٠\times ١٠^{-٥}$
مؤسسة رين بيرد	8X	٩٨	٠,٩٢٢	$-٩,٨٧٠\times ١٠^{-٣}$	$١,٠٠٥\times ١٠^{-٤}$
مجموعة سينقر للري	S4006	٢٤٥	٠,٩٦٣	$-٦,١٨٣\times ١٠^{-٤}$	$١,٢٦٩\times ١٠^{-٥}$
مجموعة سينقر للري	S5006	٢٤٥	٠,٩٩٠	$-٢,٥٠٢\times ١٠^{-٣}$	$-٧,٨٩٦\times ١٠^{-٦}$
مجموعة سينقر للري	SSPR	٥٩	٠,٩٨٣	$-٦,٦٢٢\times ١٠^{-٤}$	$-٨,١٠٠\times ١٠^{-٥}$
مجموعة فالمونت الصناعية	SPR06	٥٩	٠,٨٦٥	٠	٠
مجموعة فالمونت الصناعية	SPR10	٩٨	٠,٨١٦	٠	٠

(١٦,٣,٤) قطر التغطية

إن قطر التغطية، والذي يُسمى أيضاً بقطر البلل، (W_d)، هو مساحة الشكل الدائري الذي يُبلل من خلال رشاش واحد. ولقطر التغطية تأثير كبير على الرشاش والمسافة بين الخطوط الفرعية وبالتالي على تكلفة النظام. ويعتمد قطر التغطية على سرعة نفث الرشاش، وزاوية محور الفوهة مع الأفقي، وحجم قطرات المياه التي تخرج عندما يبدأ الرشاش في النفث. وإلى حد ما، فكلما ازداد الضغط، ازداد قطر التغطية وأصبح من الممكن القيام بإضافة منتظمة. وينبغي زيادة الضغط بزيادة أحجام الفوهة لضمان تكسير وتحول القطرات إلى رذاذ وأن تكون قطرات الرش متساوية.

ويوفر مصنعو الرشاشات بتوفير بيانات عن الأداء والتي تشمل التصرف وقطر التغطية كدالة في ضغط التشغيل وأقطار الفوهات كما هو موضح في الجدول رقم (١٦,٤). ويعمل قطر التغطية الذي يوفره المصنعون على تحديد ارتفاع الفوهة فوق الأرض عند اختبار الرشاش. ونتائج الاختبارات تكون في الغالب في ظروف بلا الرياح وهي تشمل المدى الذي يُنصح به من ضغط التشغيل بالنسبة للأشكال المذكورة.

الجدول رقم (١٦,٤). بيانات الأداء كمثال على أحد الرشاشات.

ضغط الرشاش (ك.بسكال)	قطر الفوهة (مم) ٢,٣٨×٤,٣٧ التصرف (لتر/ث)	قطر التغطية (م)	٢,٣٨×٤,٧٦ التصرف (لتر/ث)	قطر التغطية (م)	٣,١٨×٤,٧٦ التصرف (لتر/ث)	قطر التغطية (م)	٣,١٨×٥,١٦ التصرف (لتر/ث)	قطر التغطية (م)	٣,١٨×٥,٥٦ التصرف (لتر/ث)	قطر التغطية (م)	٣,١٨×٥,٩٥ التصرف (لتر/ث)	قطر التغطية (م)
١٧٣	٠,٣٥	٢٦,٨	٠,٤٠	٢٧,٤	٠,٤٧	٢٧,٤	٠,٥٢	٢٧,٤	٠,٥٨	٢٨,٤	٠,٦٤	٢٨,٧
٢٠٧	٠,٣٨	٢٨,٠	٠,٤٤	٢٩,٠	٠,٥١	٢٩,٠	٠,٥٨	٢٩,٩	٠,٦٤	٣٠,٥	٠,٧١	٣٠,٨
٢٤٢	٠,٤١	٢٩,٠	٠,٤٧	٢٩,٩	٠,٥٦	٢٩,٩	٠,٦٣	٣٠,٨	٠,٧٠	٣١,٤	٠,٧٦	٣٢,٠
٢٧٦	٠,٤٤	٢٩,٦	٠,٥١	٣٠,٥	٠,٦٠	٣٠,٥	٠,٦٧	٣١,٤	٠,٧٥	٣٢,٣	٠,٨٢	٣٢,٦
٣١١	٠,٤٧	٣٠,٢	٠,٥٤	٣١,١	٠,٦٣	٣١,١	٠,٧١	٣٢,٠	٠,٨٠	٣٢,٩	٠,٨٧	٣٣,٥
٣٤٥	٠,٥٠	٣٠,٥	٠,٥٧	٣١,٧	٠,٦٧	٣١,٧	٠,٧٥	٣٢,٦	٠,٨٤	٣٣,٥	٠,٩٢	٣٤,١
٣٨٠	٠,٥٢	٣٠,٨	٠,٦٠	٣٢,٣	٠,٧٠	٣٢,٣	٠,٧٩	٣٣,٢	٠,٨٨	٣٤,١	٠,٩٦	٣٤,٨

وهناك أنواع متعددة متوفرة من الفوهات للرشاشات، والأنواع التقليدية على التوالي هي فوهات من النحاس الأصفر السوي (والتي يكون لها فوهات مستديرة) أو فوهات من البلاستيك قطرية الشكل تعطي أشكالاً وأنماطاً جيدة عند الضغوط المتوسطة إلى المرتفعة. وتعطي الفوهات غير المستديرة (مع دفقات انتشارية) أنماطاً جيدة عند الضغوط المنخفضة، ولكن نصف القطر المبلل يكون غالباً أصغر منه في حالة الفوهات الدائرية. ووضع كينكيد Kincaid (1982) معادلات للتنبؤ بقطر التغطية على أساس ضغط الفوهة والتصرف من الرشاش، واستخدم هيرمان وشتال Heermann and Stahl (2006) قطر الفوهة وضغط الرشاش للتنبؤ بنصف قطر البلل لمدى من الرشاشات:

$$W_r = r_0 + r_1\left(D_n^2 P\right)^2 + r_2\left(D_n^2 P\right)^2 \qquad (١٦,٦)$$

حيث إن:

W_r = نصف قطر البلل (التغطية)، م.

D_n = قطر الفوهة، مم.

P = ضغط الفوهة، كيلوبسكال.

r_0, r_1, r_2 = معاملات (ثوابت) عملية.

ويوضح الجدول رقم (١٦,٥) بياناً للمعاملات العملية للرشاشات المختارة.

(١٦,٣,٥) زمن التشغيل

لابد من اختيار زمن التشغيل لكل مجموعة (T_s) لتلبية الاحتياجات المائية للمحصول خلال الفترة بين الريات بأكملها وفي نفس الوقت للعمل على تجنب التسرب العميق، ولابد أيضاً أن يكون زمن التشغيل مقبولاً للمشغل، ويعتمد زمن المجموعة المناسب على معدل إضافة المياه.

ومتوسط معدل إضافة المياه هو المعدل المتوسط الذي يتم به إضافة المياه إلى سطح التربة/المحصول. ويعتمد معدل الإضافة على التصرف والمساحة الممثلة لرشاش

مفرد. ومتوسط معدل الإضافة في حالة الوضع الثابت والنظم دورية التنقل يُعطى بالمعادلة:

$$R_a = \frac{3600\ q_S}{S_L S_m} \qquad (١٦,٧)$$

حيث إن R_a = متوسط معدل الإضافة، مم/ساعة.

ويعد معدل الإضافة مهماً طالما أن الجريان السطحي من الممكن أن يحدث عندما يتجاوز معدل الإضافة معدل التسرب. ويحتوى الجدول رقم (١٦,٦) على أقصى وأدنى معدل إضافة موصى به لتصميم الرشاش النمطي في حالة النظم دورية التنقل ونظم الوضع الثابت، وتمثل هذه القيم الظروف المتوسطة التي يلزم تعديلها عندما تكون المعلومات المحلية متاحة أو حيثما يكون الجريان السطحي سائداً.

الجدول رقم (١٦,٥). معاملات نصف قطر البلل للرشاشات المختارة (مقتبس من Heerman and Stahl, 2006).

اسم الشركة	رقم الموديل	المعاملات		
		r_0	r_1	r_2
مؤسسة نيلسون للري	F32AS	٧,٦٦	$١,٠١٨٨\times١٠^{-٣}$	$-٥,٩٠١٧\times١٠^{-٨}$
مؤسسة نيلسون للري	F32S	١١,١٦	$٤,٤٣٤٠\times١٠^{-٤}$	$-٨,٨٤٦٦\times١٠^{-٩}$
مؤسسة نيلسون للري	F33A	٩,٩٥	$٦,٧١٥٢\times١٠^{-٤}$	$-٢,٠٥٠٤\times١٠^{-٨}$
مؤسسة نيلسون للري	F33AS	٩,٩٥	$٦,٧١٥٢\times١٠^{-٤}$	$-٢,٠٥٠٤\times١٠^{-٨}$
مؤسسة نيلسون للري	F33S	١٠,٧٤	$٦,٥٩٥٦\times١٠^{-٤}$	$-١,٧١٥٦\times١٠^{-٨}$
مؤسسة نيلسون للري	F33DN	٩,٦٧	$٤,٢٧١٥\times١٠^{-٤}$	$-١,١٩٨٥\times١٠^{-٨}$
مؤسسة نيلسون للري	F43A	٩,٢٥	$٤,٢٣٦٤\times١٠^{-٤}$	$-٧,٨٧٤٢\times١٠^{-٩}$
مؤسسة نيلسون للري	F43AP	٩,٣٦	$٣,٩٨١٧\times١٠^{-٤}$	$-٦,٠٤٠٠\times١٠^{-٩}$
مؤسسة نيلسون للري	F43P	١٢,٣٤	$٤,٥٩٩٨\times١٠^{-٤}$	$-٧,٢٥٧٥\times١٠^{-٩}$
مؤسسة نيلسون للري	F70A	١٢,٦٢	$٢,٥٦٣٤\times١٠^{-٤}$	$-١,٩٥٥٥\times١٠^{-٩}$
مؤسسة نيلسون للري	F80A	١٦,٨٧	$١,١٧٥٧\times١٠^{-٤}$	$-٣,٠٤٥٣\times١٠^{-٩}$

تابع الجدول رقم (١٦,٥).

اسم الشركة	رقم الموديل	المعاملات		
		r_0	r_1	r_2
مؤسسة نيلسون للري	R30	٩,١٥	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	R3000	٦,٤٠	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	R30D4	٨,٥٤	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	R30D6	٧,٦٢	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	SPRI	٣,٧٣	٧,٧٢١٩ × $١٠^{-٤}$	-٤,٢٢١٧ × $١٠^{-٨}$
مؤسسة رين بيرد	20	١٠,٥٤	٥,٢٨٧٠ × $١٠^{-٤}$	-٣,٣٩٢٠ × $١٠^{-٨}$
مؤسسة رين بيرد	L20	٨,٣٠	٩,٥٨٩٣ × $١٠^{-٤}$	-٨,٨١١٠ × $١٠^{-٨}$
مؤسسة رين بيرد	L2020	٩,٤٨	٤,٠٠٩٢ × $١٠^{-٤}$	-٢,٦٥٠٤ × $١٠^{-٨}$
مؤسسة رين بيرد	30	١٠,٧٥	٦,٤٤٩٦ × $١٠^{-٤}$	-١,٦٨١٦ × $١٠^{-٨}$
مؤسسة رين بيرد	L30	١٠,٢٣	١,٨٧٧٢ × $١٠^{-٤}$	-٤,٢٤٩٤ × $١٠^{-٩}$
مؤسسة رين بيرد	L3030	١٠,٢٧	١,٦٩١٧ × $١٠^{-٤}$	-٣,١٥٦٠ × $١٠^{-٩}$
مؤسسة رين بيرد	35	١٠,٦٤	٦,٩٧١٠ × $١٠^{-٤}$	-١,٩١٢٠ × $١٠^{-٨}$
مؤسسة رين بيرد	40	١٢,٠٠	٥,١٨٩٣ × $١٠^{-٤}$	-٩,١٨٢٦ × $١٠^{-٩}$
مؤسسة رين بيرد	65	١٣,٠٩	٣,٦٠٦٣ × $١٠^{-٤}$	-٣,٠٨٤٤ × $١٠^{-٩}$
مؤسسة رين بيرد	70	١٦,٥٢	٢,٧٨٩٢ × $١٠^{-٤}$	-١,٢٤٣٢ × $١٠^{-٩}$
مؤسسة رين بيرد	85	١٦,٦٩	١,٩٢١٢ × $١٠^{-٤}$	-٦,١٤٢٨ × $١٠^{-١٠}$
مؤسسة رين بيرد	8X	٦,٤٧	٣,٤٣٠٦ × $١٠^{-٤}$	-٦,٤٣٥٣ × $١٠^{-٩}$
مجموعة سينقر للري	S4006	١١,٠٢	٥,٠٤٤٤ × $١٠^{-٤}$	-١,٣٦٧٧ × $١٠^{-٨}$
مجموعة سينقر للري	S5006	١١,٤٩	٣,٨١٠٥ × $١٠^{-٤}$	-٣,٣٥٠٩ × $١٠^{-٩}$
مجموعة سينقر للري	SSPR	٣,٨٣	٤,١٧٩٣ × $١٠^{-٤}$	-١,٣٨٩٤ × $١٠^{-٨}$
مجموعة فالمونت الصناعية	SPR06	٣,٥٢	٥,٢٧٦٠ × $١٠^{-٧}$	٠
مجموعة فالمونت الصناعية	SPR10	٢,٩٧	٧,٦٥٣٩ × $١٠^{-٤}$	-٢,٩٣٣٤ × $١٠^{-٨}$

الجدول رقم (١٦,٦). أقصى معدل إضافة وعمق تسرب بناء على نوع التربة ومعايير الإدارة (مقتبس جزئياً من Keller and Bleisner, 1990).

نوع التربة	أقصى معدل إضافة (مم) ميل سطح التربة (٪)				السعة المتاحة للاحتفاظ بالمياه	أقصى عمق تسرب (مم) لعمق جذور ١ م مع نسبة استنفاذ مسموح به:		
	٠–٥	٥–٨	٨–١٢	أكبر من ١٢	(مم/م)	٣٥٪	٥٠٪	٦٥٪
رملية خشنة	٥٠	٤٠	٣٠	٢٠	٥٠–٧٠	٢١	٣٠	٣٩
رملية ناعمة	٤٠	٣٢	٢٤	١٦	٧٥–٨٥	٢٨	٤٠	٥٢
لومية رملية ناعمة	٣٥	٢٨	٢١	١٤	٨٥–١٠٠	٣٢	٤٥	٥٩
لومية رملية	٢٥	٢٠	١٥	١٠	١١٠–١٢٥	٤٢	٦٠	٧٨
رملية لومية ناعمة	٢٠	١٦	١٢	٨	١٣٠–١٥٠	٤٩	٧٠	٩١
رملية لومية ناعمة جداً	١٥	١٢	٩	٦	١٤٥–١٦٥	٥٣	٧٥	٩٨
لومية	١٣	١٠	٨	٥	١٥٠–١٧٠	٥٦	٨٠	١٠٤
طميية لومية	١٣	١٠	٨	٥	١٦٠–٢٠٠	٦٣	٩٠	١١٧
رملية طينية لومية	١٠	٨	٦	٤	١٤٠–١٧٠	٥٣	٧٥	٩٨
طينية لومية	٨	٦	٥	٣	١٥٠–١٨٠	٥٦	٨٠	١٠٤
طميية طينية لومية	٨	٦	٥	٣	١٤٠–١٨٠	٥٦	٨٠	١٠٤
طينية	٥	٤	٣	٢	١٣٠–١٨٠	٥٣	٧٥	٩٨

ويمكن حساب عمق المياه المضافة لكل عملية ري (أي، حجم المياه لكل وحدة مساحة من الأرض) في حالة نظم الوضع الثابت ونظم الحركة المستقيمة من المعادلة التالية:

$$d_g = R_a T_S = \frac{3600\ q_S T_S}{S_L S_m} \quad (١٦,٨)$$

وعمق المياه المضافة ومعدل الإضافة المناظر للأنواع الأخرى من نظم الري بالرش سوف يتم عرضها في أجزاء لاحقة.

ولا يجب أن يتجاوز عمق الإضافة الصافي ($d_n = E_a d_g$) استنزاف مياه التربة عند وقت الري، ومع هذا، لابد أن يكون صافي عمق ماء الري كبيراً بدرجة كافية لتلبية استهلاك المحصول من المياه أثناء الفترة بين الريات. وللعمل على التوافق مع هذه القيود فإن زمن التشغيل لكل مجموعة يجب أن يكون متناغماً مع الفترة بين الريات وصافي سعة النظام. وإذا كان العمق المطلوب لصافي السعة متجاوزاً للاستنزاف عند وقت الري فإنه يكون من المطلوب وجود مزيد من الخطوط الفرعية على امتداد عرض الحقل. ولأغراض التصميم يتم حساب الاستنزاف كما يلي:

$$A_D = MAD \ R_D \ TAW \qquad (١٦,٩)$$

حيث إن:

A_D = الاستنزاف المسموح به، مم.

MAD = استنزاف الرطوبة المسموح به، كسر عشري.

R_D = عمق الجذور أثناء فترة أقصى استهلاك مائي، م.

TAW = المياه الكلية المتاحة لكل وحدة عمق من التربة، مم من المياه لكل عمق ١ م من التربة.

والقيم المثلة للمعاملات في المعادلة رقم (١٦,٩) متاحة في الفصل الثالث وفي الجدول رقم (١٦,٦). ولابد أن يتوافق عمق الماء الصافي ضمن المدى التالي:

$$C_n T_i \le d_n = \frac{3600 \ q_S T_S E_a}{S_L S_m} \le A_D = MAD \ R_D \ TAW \qquad (١٦,١٠)$$

حيث إن d_n عمق الإضافة الصافي (مم). ويمكن تعديل هذه المعادلة لتعطي أقصى وأدنى حدود بالنسبة لزمن تشغيل كل مجموعة:

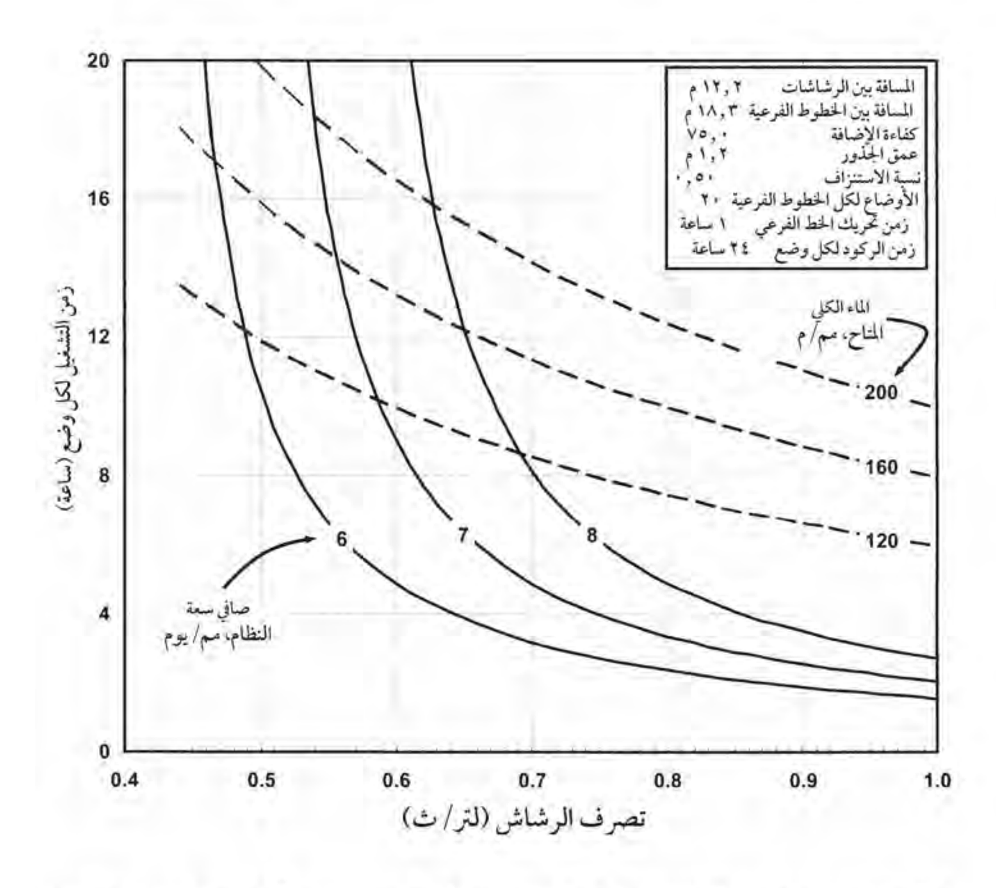
$$\frac{n\,T_m + T_d}{\dfrac{86400\ q_S\ E_a}{C_n S_L S_m} - n} \le T_S \le \frac{MAD\ R_D\ TAW\ S_L\ \ S_m}{3600\ q_S\ \ E_a} \qquad (١٦,١١)$$

وتوضح النتائج أن مقدرة التربة على الاحتفاظ بعمق الإضافة الصافي يعمل على توفير أقصى زمن مجموعة في حين يعمل الزمن المطلوب لتلبية صافي السعة على توفير أدنى زمن مجموعة (الشكل رقم (١٦,٥)). وبالنسبة للشروط بين الحدود فإنه يمكن غلق النظام لما يزيد على يوم واحد من زمن التوقف كما هو مستخدم في الشكل. وتوضح هذه النتائج أن كمية زمن التوقف يزداد بزيادة تصرف الرشاش. وإذا لم يكن هناك اتحادات محتملة لعدد من الخطوط الفرعية على امتداد الحقل فإنه يجب زيادة العرض. وحيث إن معادلة زمن التشغيل تكون معقدة، فإنها توجز الاعتبارات المطلوبة لمساحة وتربة ما. ويتم تحليل المعادلة بسهولة باستخدام برنامج جدول العمل. ويتضمن الحل غالباً منهج المحاولة والخطأ.

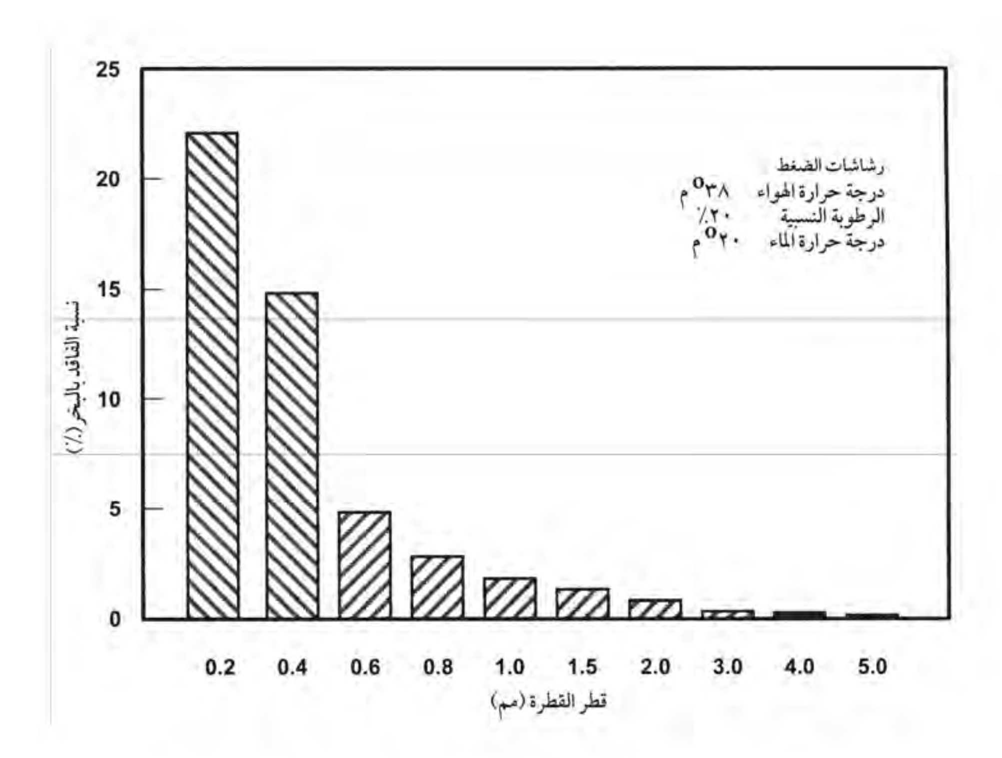
(١٦,٣,٦) توزيع حجم القطرة

يؤثر حجم قطرات الرشاش تأثيراً عميقاً على أداء نظام الري بالرش، وقد أظهرت التحليلات التي قام بها كل من إيدلنق (1985) Edling، وكوهل وآخرين (1987) Kohl *et al.*، وكينكيد ولونقلي (1989) Kincaid and Longley، وثومسون وآخرين (1993) Thompson *et al.* أن القطرات الصغيرة تتبخر أسرع من القطرات الكبيرة (الشكل رقم ١٦,٦). وغالباً ما يتم افتراض أن القطرات المنفردة لها شكل دائري. وبالتالي تُعطى مساحة السطح بالقانون (πd^2) في حين تُعطى كتلة القطرة بالقانون $(\pi \rho d^3/6)$ حيث d قطر القطرة و ρ كثافة المياه. ولذلك، فإن نسبة مساحة السطح إلى كتلة القطرة تتغير عكسياً مع قطر القطرة. ومن هنا، فإن جزءًا أكبر من المياه

في القطرة الصغيرة يكون معرضاً للغلاف الجوي مما يؤدي إلى معدلات تبخر أكبر نسبياً، ويجب أن تعمل الرشاشات التي تنتج قطرات كبيرة على تقليل الفقد بالبخر وسوف يتضح أنها تزيد من كفاءة الإضافة.



الشكل رقم (١٦,٥). علاقة الزمن المقبول للتشغيل بتصرف الرشاش عندما تكوّن احتياجات سعة المياه الصافية أقل زمن تشغيلي وعندما تعمل سعة الاحتفاظ بمياه التربة على تقييد أقصى زمن تشغيلي.



الشكل رقم (١٦,٦). توضيح لأثر حجم القطرة على نسبة معدلات البخر.

وأظهرت الأبحاث أيضاً أن القطرات الصغيرة تكون معرضة بشدة إلى الانجراف في أحوال اشتداد الرياح. وقوة السحب الناتجة من الفرق في السرعة بين القطرة والهواء تتناسب مع المنطقة المتوقعة للقطرة في الهواء. وتتناسب كمية الحركة مع كتلة القطرة. وبالتالي، تكون قوى السحب أكثر أهمية في حالة القطرات الصغيرة عن القطرات الكبيرة. ويسبب التأثير الكبير لقوى السحب إبطاء القطرات الصغيرة بشكل سريع في الهواء الساكن. وحيث إن كمية الحركة تمثل أهمية أكبر في حالة القطرات الكبيرة، إلا أن هذه القطرات الكبيرة تكون أقل تأثراً بقوى السحب وتتباطأ بشكل أكثر بطئاً عن القطرات الصغيرة. وهذه العمليات تؤدي إلى تغير في أحجام القطرات مع المسافة من الرشاش. وفي

الهواء الساكن، تسقط القطرات الصغيرة عند مواضع أكثر قرباً من الرشاش بينما القطرات الأكبر تنتقل لمسافة أبعد. وفي ظروف اشتداد الرياح فإن قوة السحب الإضافية الناتجة من الرياح تقوم بنقل القطرات في اتجاه الريح. وهذه العملية تسمى بالبعثرة. ويمكن أن تعمل البعثرة على تقليل كفاءة الري عندما يتم إيداع المياه خارج الحقل. ومن الممكن أن تقل الانتظامية إذا ما أدت البعثرة إلى تشوه كبير في نمط الإضافة في حالة الفترات الطويلة.

تعمل كمية حركة القطرات الكبيرة على مقاومة البعثرة في ظروف اشتداد الرياح، ولكنها تؤثر بشكل سلبي على سطح التربة. وقد أظهر ليفاين Levine (1952) وآخرون أن طاقة التصادم الواردة من قطرات المياه والتي تؤدي إلى انهيار التربة تعمل على تكتل التربة وعلى تكوين طبقة غير منفذة على سطح التربة مما يقلل من التسرب ومن الممكن أن يؤدي إلى الجريان السطحي. وقد أظهر ليفاين Levine (1952) أن التربة الرملية كانت أقل تأثراً بضغط القطرة عن التربة ذات القوام الأكثر نعومة. ويمكن أن يتم التعبير عن طاقة الحركة للقطرة الساقطة بالقانون $\pi \rho d^3 v/12$ حيث v تساوي سرعة القطرة.

وقام ستلمونكس وجيمس Stillmunkes and James (1982) بإيجاز بحث يوضح أن الطبقة غير المنفذة التي تسد السطح ترتبط بمقدار طاقة الحركة لكل وحدة مساحة عن التصادم وتراكم الطاقة عبر الزمن. وتزداد طاقة الحركة لكل وحدة مساحة مع قطر القطرة، ولكنها تصل إلى مرحلة استقرار نسبي عندما تكون طاقة الحركة لكل وحدة مساحة ثابتة تقريباً مع زيادة حجم القطرة. وقد تم عرض نتائج مماثلة من قبل كوهيل وآخرين Kohl *et al.* (1985). وتتناسب طاقة الحركة لكل وحدة مساحة مع قطر القطرة في الوقت الذي يكون فيه معامل السحب كما قام بعرضه سيجنر Seginer (1965) يتناسب عكسياً مع قطر القطرة. وهذه التداخلات توضح أن هناك اختلافاً بسيطاً نسبياً في سرعة القطرات عندما يتجاوز قطر القطرة ٢ أو ٣ مم (الشكل رقم ١٦,٧). وقد استنتج ستلمونكس وجايمس Stillmunkes and James (1982) أن طاقة الحركة لكل وحدة مساحة غير حساسة لحجم القطرة إذا كانت القطرات أكبر من ٣ مم وأن طاقة الحركة لكل وحدة مساحة تعتمد على معدل الإضافة وطول الفترة الزمنية

التي تضاف فيها المياه. والمعادلة المأخوذة من ستلمونكس وجيمس Stillmunkes and James (1982) بالنسبة لطاقة الحركة لكل وحدة مساحة هي :

$$\frac{Ke}{a} = \frac{\rho d v^2}{2} = \frac{\rho R T v^2}{2} \qquad (١٦,١٢)$$

حيث إن :

Ke/a = طاقة الحركة لوحدة مساحة.

ρ = كثافة الماء.

d = عمق الماء المضاف.

v = سرعة القطرة.

R = متوسط معدل الإضافة.

T = زمن التعرض.

واستخدم فون بيرنوث وجيلي von Bemuth and Gilley (1985) بيانات من مصادر متعددة من قبل لتقدير معدل التسرب النسبي لأنواع التربة الجرداء مقارنة بأنواع التربة المحمية بطبقة من التبن أو بغطاء من المحصول (I_r) :

$$I_r = 1 - 0.0354\ d_{50}^{0.683}\ v^{1.271}\ S_a^{-0.353}\ S_i^{0.237} \qquad (١٦,١٣)$$

حيث إن :

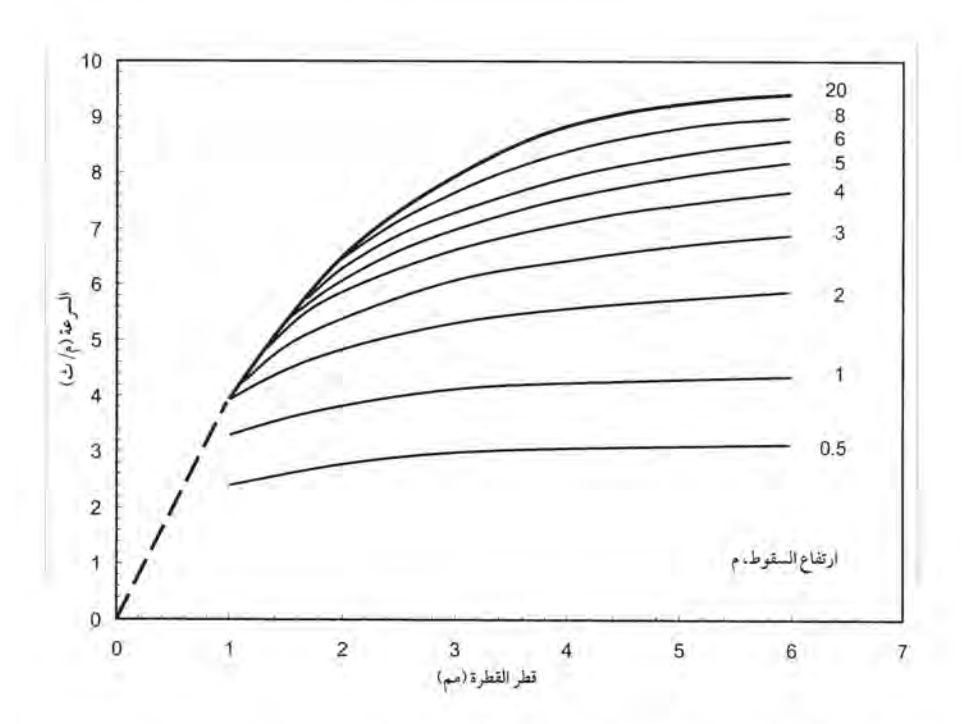
I_r = معدل التسرب النسبي للتربة الجرداء بالنسبة للتربة المحمية ، كسر عشري.

d_{50} = القطر المتوسط للقطرة ، مم.

v = سرعة سقوط القطرة المتوسطة الحجم ، م/ث.

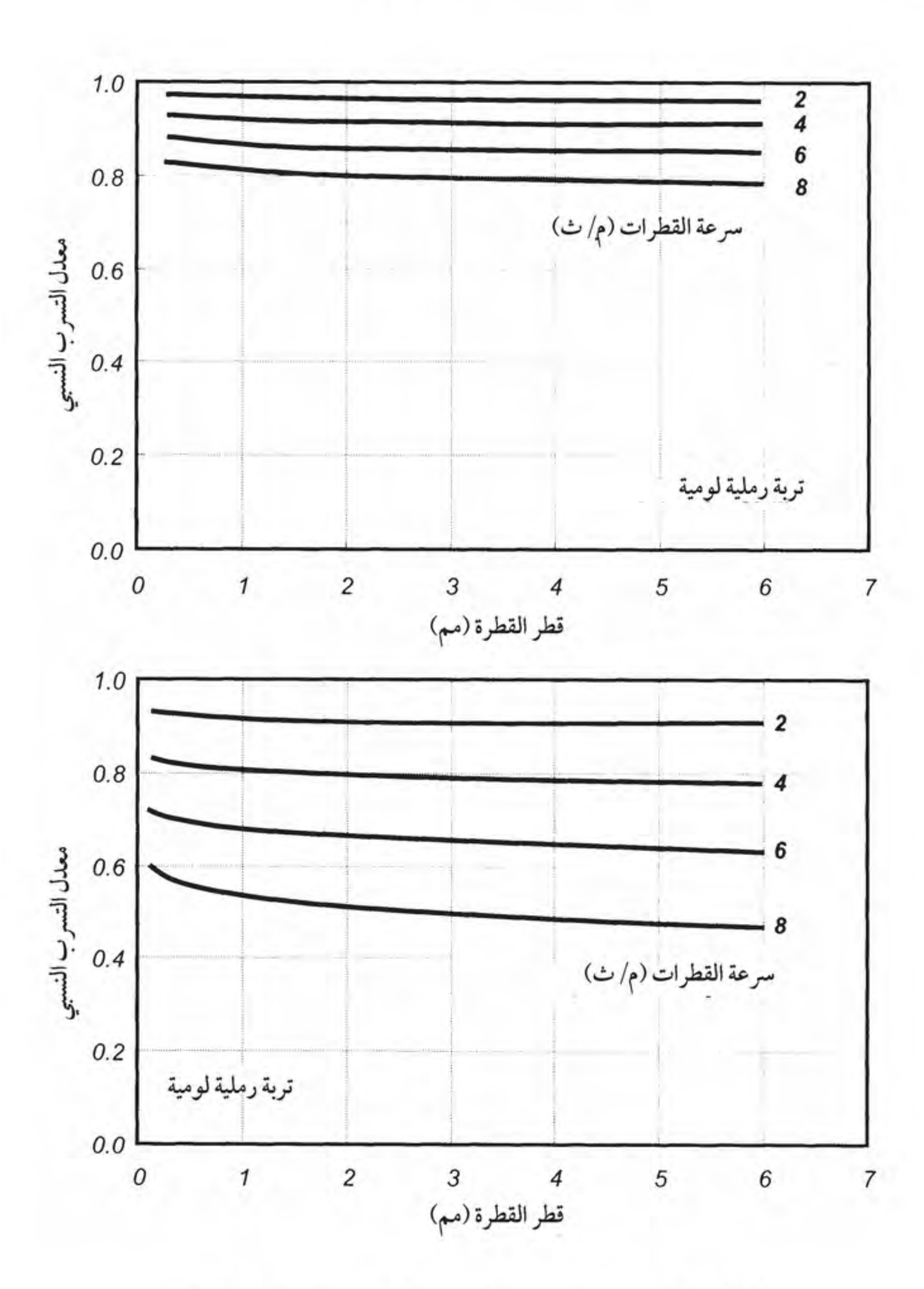
S_a = نسبة الرمل في التربة ، ٪.

S_i = نسبة الطمي في التربة ، ٪.



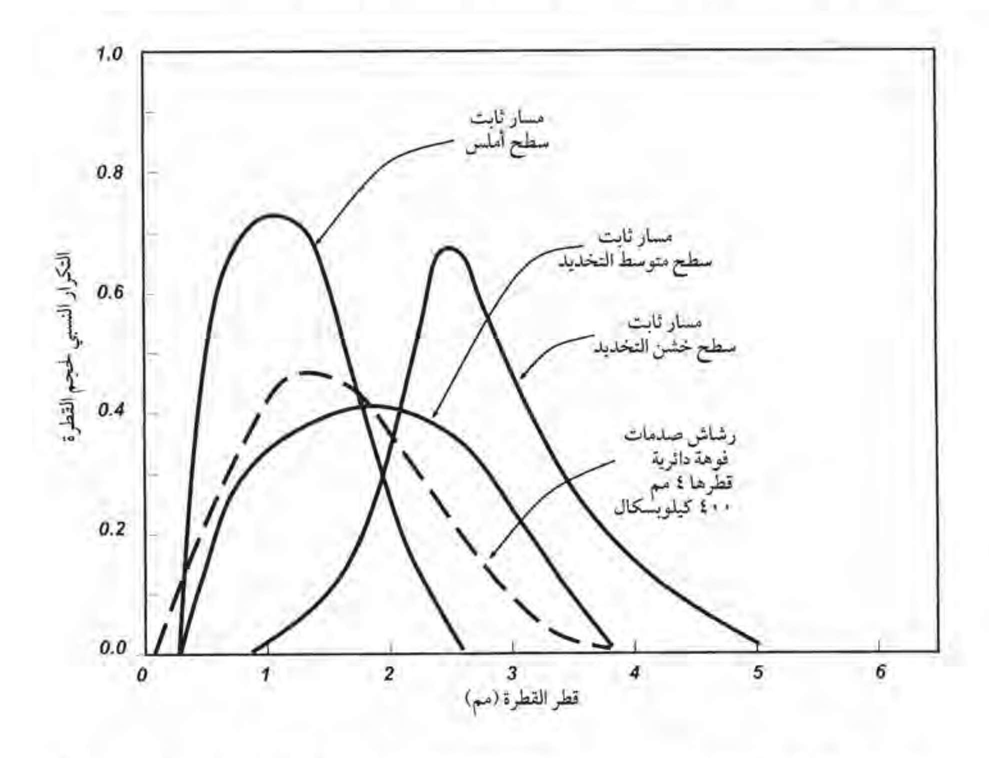
الشكل رقم (١٦,٧). تأثير حجم القطرة وارتفاع السقوط على سرعة القطرات (مقتبس من Stillmunkes and James, 1982).

ويوضح الشكل رقم (١٦,٨) تأثير حجم القطرة والسرعة على التسرب، وفي الوقت الذي يكون فيه تبخر وتبعثر القطرات الصغيرة كبيراً، فإن الحجم النسبي للمياه في مدى معين من حجم محدد لابد من أخذه في الاعتبار. فعلى سبيل المثال، تبلغ كتلة المياه في قطرة قطرها ٥ مم حوالي ١٠٠٠ مرة من الحجم الموجود في قطرة قطرها ٠,٥ مم. ولابد من أخذ توزيع حجم القطرة في الاعتبار لتحديد ما إذا كان يمكن أن تكون الفواقد كبيرة.



الشكل رقم (١٦,٨). تأثير طاقة تصادم القطرة على معدلات التسرب.

وأدى هذا إلى ابتكار طرق لتحديد توزيع حجم القطرات من أجهزة الرش التي تعمل عند ضغوط مختلفة وارتفاعات مختلفة. وقد تم استخدام عديد من الطرق لقياس حجم قطرات المياه (انظر Solomon and Bezdek, 1980 ، و Eigel and Moore, 1983 ، وKohl and DeBoer, 1984 ، وDadiao and Wllender, 1985 للاطلاع على أوصاف التقنيات المتنوعة). والشكل رقم (١٦,٩) يوضح أمثلة على توزيع أحجام القطرات. وقد قام بزديك وسلومون Bezdek and Solomon (1983) بتحليل وظائف ميكانيكية متنوعة لوصف توزيع أحجام القطرات. وقد استنتجا أن التوزيع اللوغاريتمي للحد العلوي كان كافياً لمجموعات البيانات التجريبية الكثيرة. ومن عيوب هذا التوزيع هو أن الحل يصعب استنتاجه من البيانات التجريبية.



الشكل رقم (١٦,٩). أمثلة على توزيع حجم القطرة في حالة وجود الرشاش على مسار ثابت مع ثلاثة أنواع من الأسطح ورشاش الضغط مع فوهة ذات شكل أسطواني مستقيم.

وحتى وقت قريب، كانت القيود على اعتبار توزيع أحجام القطرات في التصميم ناتجة من ندرة البيانات التجريبية للرشاشات شائعة الاستخدام. وطور كينكيد وآخرون Kincaid *et al.* (1996) طرقاً لتقدير توزيع أحجام القطرات الناتجة من أربعة عشر جهاز رش. وقد قاموا بتحليل أربعة نماذج للرشاشات التصادمية التي كانت مجهزة بفوهة أسطوانية مستقيمة، ووحدة تحكم في التدفق، أو فوهات مربعة. وقد قاموا أيضاً باختبار عشرة رشاشات تعمل بالضاغط مجهزة بنفاثات تصطدم بألواح ثابتة أو متحركة. وقد تم استخدام نموذج أسي لتوزيع حجم القطرات. وقد أوضح لي وآخرون Li *et al.* (1994) أن النموذج الأسي كان مقارناً بدقة نموذج اللوغاريتم حتى الحد العلوي ولكنه أكثر سهولة بكثير في الاستخدام. ويُعطى نموذج التوزيع الأسي بالمعادلة:

$$P_v = 100\left\{1 - \exp\left[-0.693\left(\frac{d}{d_{50}}\right)^{\eta}\right]\right\} \qquad (١٦,١٤)$$

حيث إن:

P_v = نسبة القطرات الكلية الأصغر من d.

d = قطر القطرة، مم.

d_{50} = حجم متوسط قطر القطرة، مم.

η = أس لابعدي.

وتم وضع بيانات عن d_{50} و η لكل فوهة ورشاش متحدين معاً خلال مدى من ضغوط التشغيل وأحجام الفوهات، ويمثل النموذج الأسي على نحو دقيق توزيع حجم القطرة للقطرات الأكبر من ٣ مم والنسبة المئوية لأحجام القطرات الأصغر.

وقام كينكيد وآخرون Kincaid *et al.* (1996) بإجراء تجربة لتقدير القيم المطلوبة للنموذج الأسي. وتستخدم هذه التجربة القطر الفعال للفوهة وضغط الفوهة. وقد أظهر الباحثون أن نسبة قطر الفوهة إلى ضاغط الضغط عند الفوهة من الممكن

استخدامها لوصف حجم القطرة متوسطة القطر والمعامل العملي η. وتلك العلاقات التي قاموا بوضعها تُعطى بالعلاقة:

$$d_{50} = a_d + b_d\Omega \quad , \quad \eta = a_n + b_n\Omega \qquad (١٦,١٥)$$

حيث إن:

Ω = نسبة قطر الفوهة إلى الضغط عند قاعدة الرشاش.

a_d, b_d, a_n, b_n = معاملات الانحسار.

وتم تصنيف النتائج إلى سبع فئات كما هو مذكور في الجدول رقم (١٦,٧)، وتوفر هذه النتائج طريقة أكثر عمومية لتقدير الآثار المترتبة على تصميم وتشغيل نظم الري على حجم القطرة الناتج.

الجدول رقم (١٦,٧). معاملات تقدير قيم توزيع حجم القطرة.

نوع الرشاش	a_d	b_d	a_n	b_n
رشاش الصدمات				
فوهة مستديرة صغيرة (٣-٦مم)	٠,٣١	١١٩٠٠	٢,٠٤	-١٥٠٠٠
فوهة مستديرة كبيرة (٩-١٥مم)	١,٣٠	٢٤٠٠	١,٨٢	٣٠٠
المتذبذب	٠,٧٨	١٨٧٠	٢,٠٨	-٦٣٠
الدوار، ٤ قنوات (أخاديد)	١,٠٧	٣٢٣٠	١,٧٠	-٨٣٠
الدوار، ٦ قنوات (أخاديد)	٠,٨١	١٤٨٠	٢,٠٧	-١٣٠٠
مقعر، ٣٠ قناة مسطحة	٠,٨٢	٦٢٠	٢,٦٨	-٧٥٠
لوح أملس مسطح	٠,٦٦	٦٨٠	٢,٧٤	-٩٢٠

وعرض كينكيد Kincaid (1996) بيانات حول طاقة حركة القطرات المرشوشة، وتم إيجاد العلاقات للتنبؤ بطاقة الحركة لكل وحدة كتلة بناءً على نسبة قطر الفوهة إلى ضاغط الضغط:

$$E_k = e_0 + e_1\left(\frac{N_d^{e_2}}{H_n^{e_3}}\right) + U^{1.5} \qquad (١٦,١٦)$$

حيث إن :

E_k = طاقة الحركة ، ك.جول/كجم.

N_d = قطر الفوهة ، مم.

H_n = ضاغط ضغط الفوهة ، م.

U = سرعة الرياح ، م/ث.

e_0, e_1, e_2, e_3 = ثوابت السحب.

ويوجز الجدول رقم (١٦,٨) قيم ثوابت السحب. وقام كينكيد Kincaid (1996) بربط طاقة الحركة بالمتوسط الحجمي لحجم القطرة والنسبة المئوية للقطرات التي يتجاوز قطرها ٣ مم :

$$E_k = 10.41 + 0.249P_3 \quad ، \quad E_k = 2.79 + 7.2d_{50} \qquad (١٦,١٧)$$

حيث إن :

P_3 = النسبة المئوية للقطرات التي يكون قطرها أصغر من ٣ مم.

ولسرعة الرياح تأثير كبير على طاقة الحركة ، وتزداد الطاقة لكل وحدة كتلة خمسة أضعاف في حالة وصول السرعة إلى ١٠ م/ث مقارنة بالهواء الساكن. وقد أوضح مودلنهاور وكمبر Moldenhauer and Kemper (1969) أن معدل التسرب ينخفض بنسبة واحدة عندما تتجاوز طاقة القطرة المتراكمة لكل وحدة مساحة ٥٠٠ جول/م^2. والرشاشات التي تنتج قطرات صغيرة بطاقة قدرها ٥ جول/كجم من الممكن أن تضيف كمية قدرها ١٠٠ مم قبل حدوث النقص. وبالنسبة للرشاشات التي

تنتج قطرات كبيرة من المياه مع طاقة قدرها ٢٠ جول/كجم فإنه سوف يتم الوصول إلى النقطة الحرجة مع الوصول إلى إضافة من المياه مقدارها ٢٥ مم. وهذه النتائج تسمح للمصممين بتقييم مشكلات الجريان السطحي المحتملة للأنواع المختلفة من الرشاشات. ومن الممكن تطبيق المفاهيم التي تم عرضها حتى هذه النقطة على تصميم نظم الري بالرش.

الجدول رقم (١٦,٨). معاملات تقدير الطاقة من أجهزة الرش.

نوع الرشاش	e_0	e_1	e_2	e_3
صدمات، ذو فوهة مستديرة كبيرة	١٤,١	٤٥,١	٠,٥	١,٠
صدمات، ذو فوهة مستديرة صغيرة	٦,٩	١٣,٢	٠,٥	١,٠
الدوار، لوحة ٤ قنوات (أخاديد)	١٢,١	٥٠,٧	٠,٥	١,٠
الدوار، لوحة ٦ قنوات (أخاديد)	٨,٩	٣٨,٠	٠,٥	١,٠
المغازل ، لوحة ٦ قنوات (أخاديد)	٦,٩	٣٦,٩	٠,٥	١,٠
انخفاض فوهة البعثرة (LDN)	١٠,٤	٠,٥٧	٠,٥	٠,٥
لوحة متوسطة ثابتة الأخدود	٦,٢	٠,٤٥	٢	٠,٥
لوحة ملساء ثابتة الأخدود	٥,٤	٠,٤٠	٢	٠,٥

(١٦,٣,٧) موضع الرشاش

لابد من وضع الرشاشات في الوضع الصحيح وبمحاذاة، وفي بعض الأحيان لا يتم وضع الرشاشات على ارتفاع عالٍ ولكن بدرجة كافية لتوفير مسار غير معاق لنفث الرشاش. ويعمل الغطاء النباتي الذي يتداخل مع نفث المياه على تقليل قطر التغطية ويؤدي إلى توزيع سيء للمياه. وفي حالة المحاصيل الصفية، لابد أن يكون الرشاش على الأقل على ارتفاع ٠,٥ م فوق أطول محصول ناضج سوف يتم ريه. وبالنسبة لمحاصيل بساتين الفاكهة لابد من وضع الرشاش في موضع يعمل على توفير منطقة تربة مبللة بدون التسبب في تدهور جودة الفاكهة من خلال بلل الأوراق والفاكهة. وإذا كان

سيتم استخدام الرشاش للتحكم في الصقيع، فلابد من وضع الرشاشات عل ارتفاع عالٍ بدرجة كافية لإمداد غطاء من مظلة المحصول. وعلى نظم الري المحورية ونظم الحركة المستقيمة (النظام السيار) فمن الممكن وضع الرشاشات أسفل الخط الفرعي، ولابد من وضع الرشاشات بحيث ألا يؤثر مسار التيار المائي على المكونات الهيكلية للآلة. وإذا تم وضع الرشاشات أسفل قمة مظلة المحصول، فلابد من وضعها قريبة بدرجة كافية على امتداد خط الأنابيب لإمداد المياه بكميات متساوية من المياه. ويتطلب هذا في الغالب أن يتم وضع رشاشات بديلة فوق الخطوط.

وتعد المحاذاة الرأسية لحامل الرشاش عاملاً مهماً أيضاً. وأوضح ندريتو وهيلز Nderitu and Hills (1993) أن قطر التغطية يقل إذا كان حامل الرشاش في وضع رأسي. وقد أوضحا أن قطاعات نزول المطر كانت تقريباً نفسها عندما كان حامل الرشاش موضوعاً بزاوية قدرها ١٠° مع الرأسي. ولكن، تقل انتظامية الإضافة عندما يتم وضع حامل الرشاش بزاوية قدرها ٢٠°. والرشاشات التي تكون حواملها مدعمة بأداة تثبيت تنتج انتظامية أعلى من الحوامل غير المدعمة.

(١٦,٤) انتظامية الإضافة

(١٦,٤,١) التوزيع أحادي الجهة

تعتمد انتظامية الإضافة من نظام الرش على توزيع المياه من الأجهزة الفردية. ويتم قياس الانتظامية باستخدام أوعية التجميع التي يتم وضعها حول جهاز الرش كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,١٠)، حيث يتم تشغيل جهاز الرش لوقت طويل بدرجة كافية لقياس عمق المياه المضافة على مسافات من جهاز الرش. ويجب أن تكون أوعية القياس كبيرة وعميقة بدرجة كافية لتوفير عملية قياس دقيقة (Kohl, 1972). وقد أوضح فيشر وولاندر Fisher and Wallender (1988) أن دقة القياس كانت مرتبطة بشكل مباشر بقطر أوعية التجميع. وإذا كان يتم استخدام الأوعية في حقل

مفتوح، فلابد من تقدير البخر. وهناك عديد من الطرق المتاحة والتي تشمل استخدام الزيت في الأوعية للحد من البخر (انظر Heermann and Kohl, 1980). وإذا كان نظام الري سيعمل أحياناً في ظروف هادئة وأخرى في ظروف رياح شديدة، فمن الأفضل القيام بقياس التوزيع تحت كلا الحالين.

ويكون لنمط توزيع المياه حول الرشاش المفرد شكل التوزيع أحادي الجهة. وأكثر المعادلات شيوعاً في الاستخدام تكون للتوزيع المثلثي والبيضاوي (الشكل رقم ١٦،١٠). ومعادلات التوزيع تُعطى بالمعادلات:

في حالة شكل التوزيع المثلثي

$$d(r) = \frac{3 q_s T_0}{\pi W_r^3}(W_r - r)$$

(١٦،٨)

في حالة شكل التوزيع البيضاوي

$$d(r) = \frac{3 q_s T_0}{2\pi W_r^3}\sqrt{W_r^2 - r^2}$$

حيث إن:

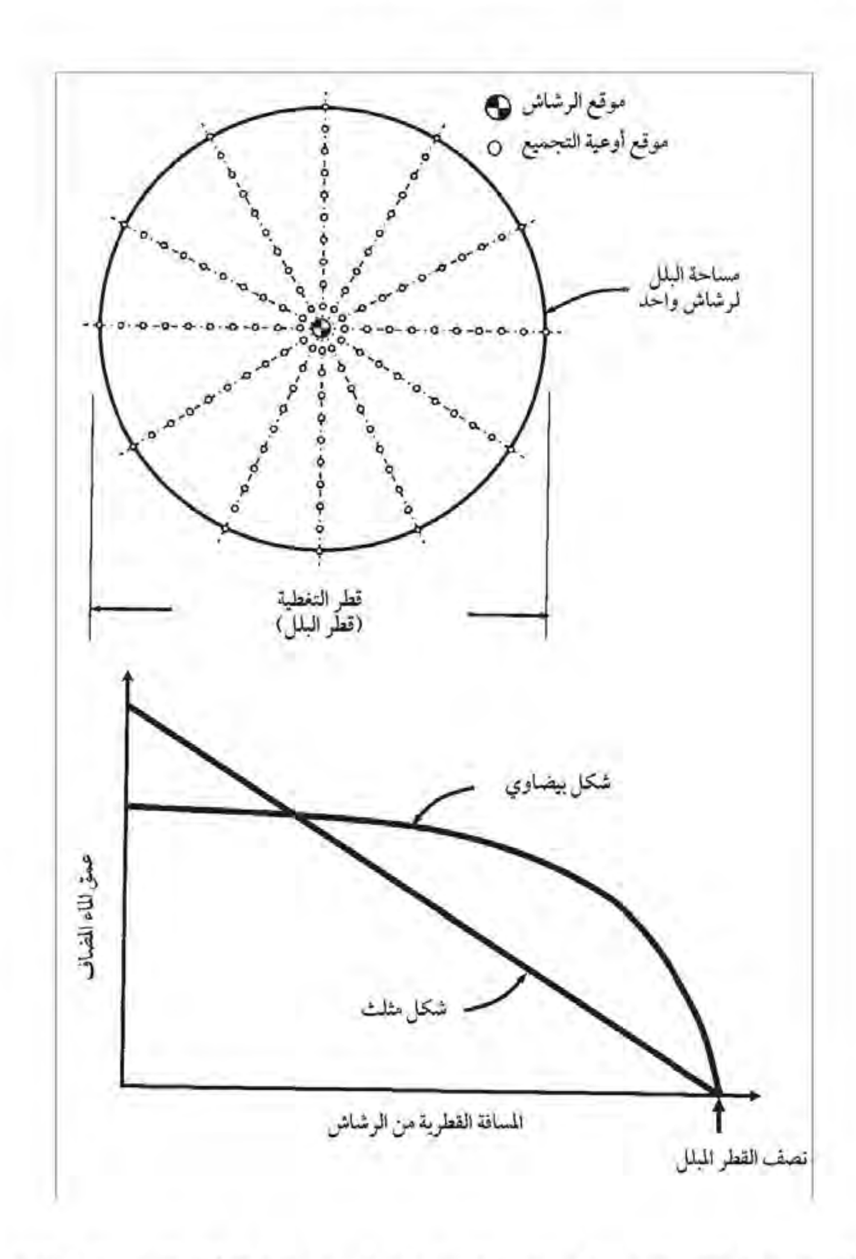
$d(r)$ = عمق المياه المضافة عند مسافة قطرية r من الرشاش.

W_r = نصف قطر التغطية أو نصف القطر المبلل من الرشاش.

T_0 = مدة تشغيل الرشاش

(١٦،٤،٢) التداخل (الخطوط الفرعية الثابتة)

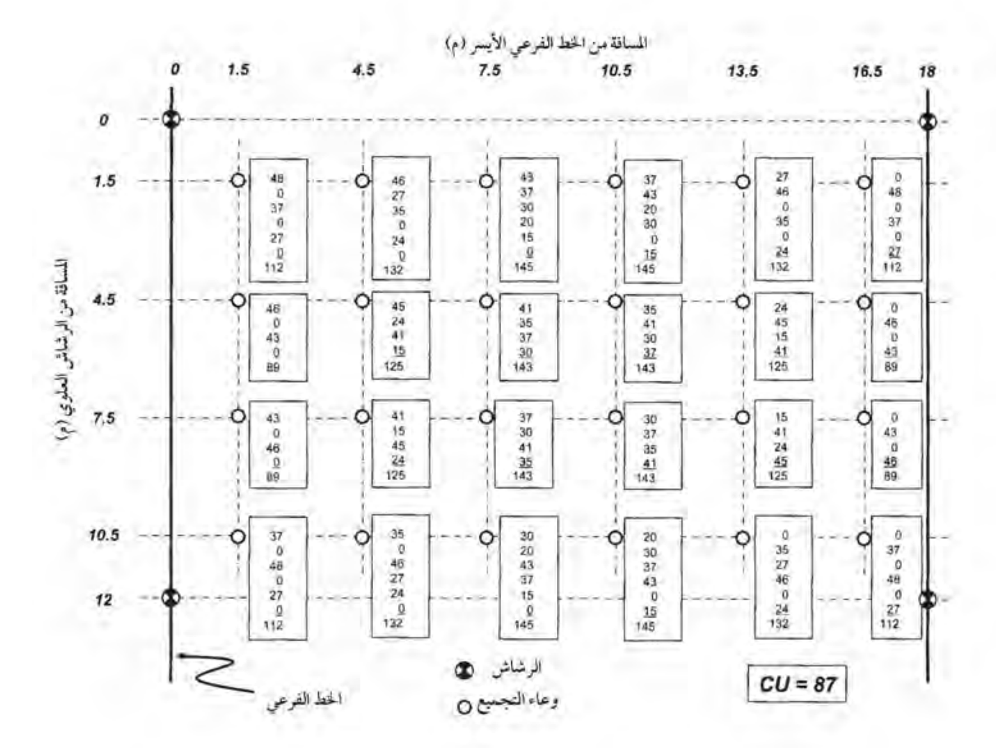
لابد أن تقوم عدة رشاشات بإضافة المياه إلى موقع في الحقل لتحقيق انتظامية إضافة مقبولة. ويمكن تقدير العمق الكلي للإضافة عن طريق عمق التداخل الذي يتم حسابه من التوزيع أحادي الجهة في حالة الرشاش المفرد. وهناك مثال لهذا الإجراء في الشكل رقم (١٦،١١).



الشكل رقم (١٦،١٠). الترتيب لقياس توزيع المياه لرشاش أحادي الجهة. أشكال التوزيع الإهليلجي والمثلث للتوزيع أحادي الجهة.

ويستند هذا المثال على رشاش الصدمات الذي يكون له فوهة بحجم ٤,٧٦×٣,١٨ مم والتي تعمل تحت ضغط ٣٥٠ كيلوبسكال والمذكور في الجدول رقم (١٦,٤). وقد تم افتراض توزيع بيضاوي الشكل وزمن ري قدره ١٠ساعات في هذا المثال. وتنتج هذه الظروف التوزيع أحادي الجهة الذي يُعطى بـ: $d(r) = 3\sqrt{16^2 - r^2}$. ومن المفترض أن يقوم توزيع أوعية التجميع بحساب الانتظامية. وفي هذه الحالة يتم وضع الأوعية مكونة شبكة مكونة من ٣م×٣م. ويتم وضع الوعاء الأول على الشبكة على بعد منتصف المسافة بين الرشاشات. ولحساب عمق المياه المضافة عند كل وعاء فإنه يتم حساب المسافة نصف القطرية من جهاز الرش إلى الوعاء (r) من العلاقة: $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ حيث x المسافات الأفقية من الخطوط الفرعية و y المسافة الرأسية إلى الرشاش. وأولى أربع قيم لكل وعاء في الشكل رقم (١٦,١١) يتم ترتيبها عن طريق الرش الناتج من الرشاش بدءًا من الرش في أعلى يساراً ويستمر للرش أسفل اليمين. والصفوف العليا والسفلى من الأوعية تستقبل المياه من الرشاشات التي توجد أمام وخلف السريان والغير موضحة في الشكل. والصف الخامس والصف السادس من البيانات الموضحة في الشكل تمثل مساهمة هذه الرشاشات. والعمق الكلي من المياه المضافة موضح عند آخر قيمة في عمود كل وعاء. وبالنسبة لهذا المثال كان أقصى عمق كلي مضاف هو ١٤٥ مم بينما كان أدنى عمق كلي مضاف هو ٨٩ مم، وتم حساب معامل الانتظامية فكان ٨٧ باستخدام الخطوات المذكورة في الفصل الرابع.

ويعمل التداخل على توفير الوسائل لتقييم المسافات بين الرشاشات في تصميم النظم الفرعية المتنقلة ونظم الوضع الثابت. وتكون بيانات التوزيع المتوفرة من كتيبات المصنعين أو من منظمات الاختبار لكثير من أجهزة الرش. وهناك بيانات فعلية من اختبار أحادي الجهة تم إجراؤه في حالة ظروف الرياح العادية يوفر بيانات أكثر تمثيلاً لتقييم الانتظامية. ويمكن كذلك حساب تأثير تطبيقات التداخل بالنسبة للنظم المتنقلة. ويعد هذا الإجراء إلى حد ما أكثر تطبيقاً وسيتم مناقشتها في الجزء اللاحق بالنسبة لتلك النظم.

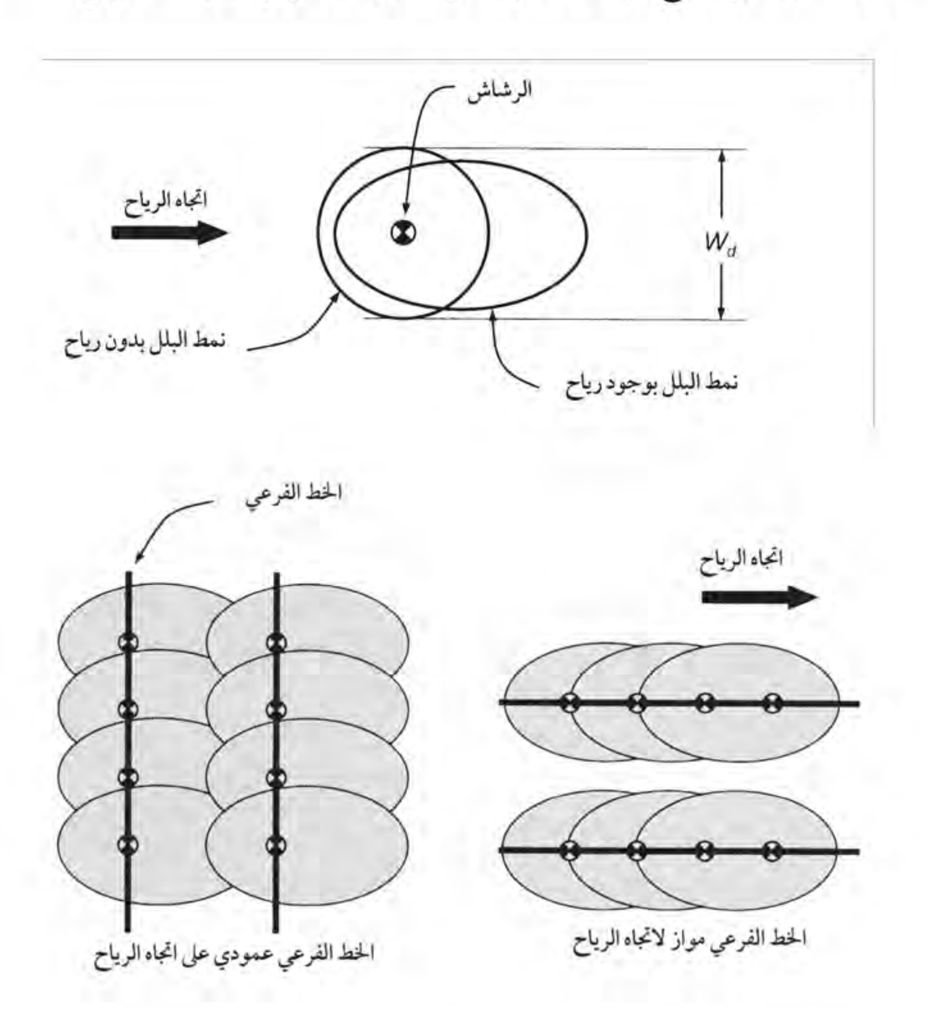


الشكل رقم (١٦,١١). توزيع المياه من تداخل التوزيع أحادي الجهة لكل رشاش عند كل وعاء.

(١٦,٤,٣) تأثير الرياح

إن للرياح تأثيراً واضحاً على توزيع المياه من الرشاشات. وقد أوضحت أعمال كل من كريستيانسن Christiansen (1942)، وفوريس وفون برنيس Vories and von Bernuth (1986)، وسيجنر وآخرين Seginer *et al.*, (1991a) كيف يتم تشويه نمط الإضافة لرشاش مفرد في ظل الرياح. وتتجلى الآثار العامة للرياح في الشكل رقم (١٦,١٢). ويتم نقل نمط الإضافة لأسفل كما هو متوقع، ولكن، يقل قطر التغطية العمودي على الرياح. وإن تضييق نمط الإضافة العمودي على الرياح له أثر على تخطيط الخطوط الفرعية لأجهزة الرش. وكما هو موضح فإن تضييق قطر التغطية يمكن

أن يؤدي إلى انتظامية ضعيفة إذا لم تكن الخطوط الفرعية موضوعة قريبة من بعضها البعض عندما تكون الرياح موازية للخطوط الفرعية. وللتعويض عن القطر الصغير للتغطية، لابد من وضع الرشاشات قريبة من بعضها البعض في الاتجاه العمودي.



الشكل رقم (١٦,١٢). تأثير الرياح على توزيع جهاز الرش وانتظامية توزيع المياه الناتجة. لاحظ أن توجيه الخطوط الفرعية بحيث تكون عمودية على اتجاه الرياح السائد يعد بشكل عام الترتيب الأكثر اقتصاداً.

ومن الأكثر اقتصاداً أن يتم وضع الرشاشات قريبة من بعضها البعض على امتداد الخط الفرعي بدلاً من جعل الخطوط الفرعية قريبة من بعضها البعض. ومن هنا فإن النصيحة العامة هي توجيه الخطوط الفرعية بحيث تكون عمودية على الرياح السائدة وأن يتم وضع الرشاشات قريبة من بعضها البعض على امتدا الخط الفرعي بدلاً من جعل الخطوط الفرعية هي المتقاربة. وقد تم وضع خطوط إرشادية عامة لأقصى مسافة بين الخطوط الفرعية للحفاظ على انتظاميات مقبولة (الجدول رقم ١٦,٩).

الجدول رقم (١٦,٩). أقصى مسافة بين الرشاشات وبين الخطوط الفرعية كنسبة مئوية من قطر البلل الفعال للرشاش التي تعمل عند ضغط متوسط على امتداد الخط الفرعي.

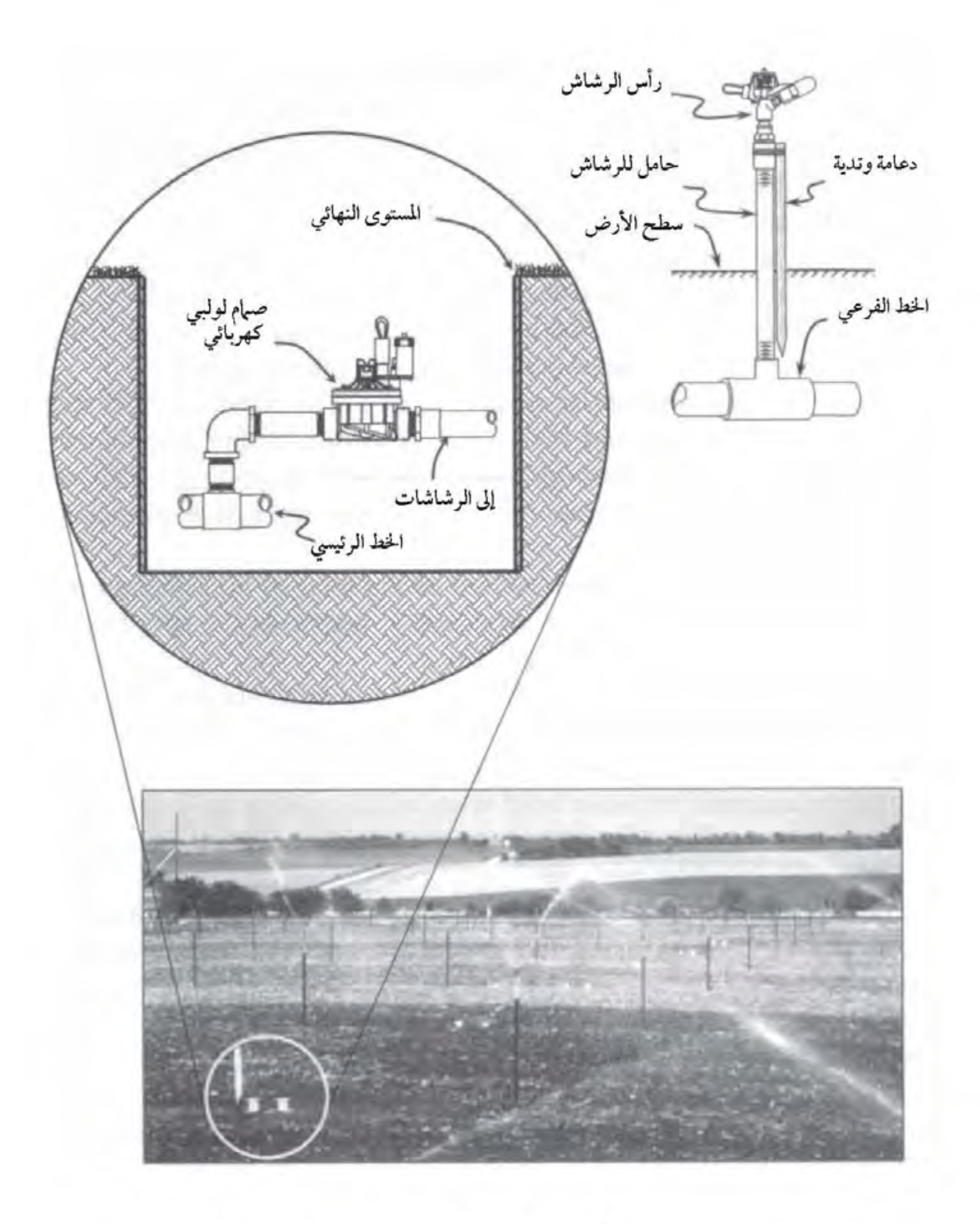
ظروف الرياح	المسافة بين الرشاشات	المسافة بين الخطوط الفرعية
عدم وجود رياح	٤٥	٪٦٥
رياح بسرعة حتى ٨ كم/ساعة	٤٠	٪٦٠
رياح بسرعة ٨-١٦ كم/ساعة	٣٥	٪٥٠
رياح بسرعة أكبر من ١٦ كم/ساعة	٣٠	٪٣٠

وتم وضع نماذج رياضية للتنبؤ بتوزيع المياه حول الرشاش (Vories *et al.*, 1987). وتعامل النماذج قطرات المياه على أنها أشياء بلاستيكية، ومعادلة الحركة التي تشمل آثار الجاذبية والسحب على قطرات المياه سيتم حلها. ويسبب السحب الزائد الناتج من السرعات العالية للرياح في أن تتحرك قطرات المياه لأسفل الرياح. وقد أوضح سيقنر وآخرون (Seginer *et al.* (1991 b أنه من الممكن محاكاة التوزيع إذا كان معامل السحب موصوفاً بشكل كاف. وقد كانت الصياغة التي استخدموها لمعامل السحب حساسة لنوع الرشاش المستخدم. ويتطلب الضبط لمعامل السحب القيام بقياسات خارج المختبر (في الهواء الطلق) للحصول على دقة مقبولة. وقد كان معامل الانتظامية حساساً تماماً لعملية الضبط التي تم القيام بها لمعامل السحب.

وطور هان وآخرون Han *et al.* (1994) نموذجاً رياضياً لتأثيرات الرياح على نمط التوزيع أحادي الجهة. وقاموا باستخدام قطع ناقص لوصف تأثير الرياح على الشكل الأفقي لنمط التوزيع وشكل أنماط التوزيع عبر أربعة قطاعات رئيسة لتوقع عمق الإضافة. وقاموا أيضاً بإجراء اختبارات لمجموعات عديدة من الرشاشات، وأنواع الفوهات، وضغوط التشغيل، وسرعات الرياح. وفي حين أن نموذجهم يعد تجريبياً أكثر من العمل الذي قام به سيجنر وآخرون Seginer *et al.* (1991 b) إلا أنه يقدم وسائل لتوقع نمط التوزيع ثلاثي الأبعاد للمياه حول الرشاش في ظل ظروف اشتداد الرياح.

(١٦,٥) نظم الوضع الثابت

إحدى طرق تقليل العمالة وجعل نظام الري بالرش آلياً تكون من خلال التركيب الدائم (الثابت)، أو على مدى موسم واحد، للخطوط الفرعية على مسافات بينية متساوية عبر الحقل. وهذا النوع من النظام يُسمى بنظام الوضع الثابت (الشكل رقم ١٦,١٣). وتتكيف نظم الوضع الثابت مع مدى واسع من أنواع التربة، والمحاصيل، والتضاريس، وأشكال الحقول. ولكونها مرتفعة التكلفة نسبياً، فإنه يتم استخدامها عادةً للمحاصيل عالية القيمة (بساتين الفاكهة، والمروج، وإنبات الشتلات) لتوفير العمالة وللتحكم البيئي. ويمكن أن تكون نظم الوضع الثابت مؤقتة أو دائمة. وتقوم النظم المؤقتة باستخدام الخطوط الفرعية المصنوعة من الألمونيوم أو البلاستيك فوق سطح الأرض والتي توضع في الحقل عند بداية الموسم، ويتم تركها في مكانها حتى الانتهاء من عملية الري ثم يتم إزالتها قبل الحصاد. وتقوم النظم الدائمة باستخدام الأنابيب البلاستيك المدفونة، أو أنابيب الأسمنت الأسبستوس، أو أنابيب الحديد الصلب المغطاة للخطوط الرئيسة والخطوط الفرعية مع وجود الصمامات أو منافذها فوق سطح الأرض.



الشكل رقم (١٣,١٦). رسم تخطيط لنظام الري بالرش باستخدام نظام الوضع الثابت.

وتسمح أجهزة التحكم بالمرونة الكاملة في تشغيل نظم الوضع الثابت. وتعد أجهزة التحكم المتطورة للنظم الثابتة متاحة للتحكم الطبيعي في فتح الصمامات ذات الغشاء الحاجز التي توجد على خطوط الرشاشات الفرعية. وهناك نوعان من أجهزة التحكم يُشاع استخدامها. بالنسبة للنوع الأول، يتم استخدام ملفات كهربية منخفضة الجهد (٢٤ فولتاً) كصمامات مرشدة للتحكم في ضغط المياه الداخلة إلى الغشاء الحاجز. وتقوم الطريقة الثانية باستخدام النظام الهيدروليكي مع وجود أنابيب صغيرة لإمداد الهواء أو ضغط المياه بشكل مباشر إلى الغشاء الحاجز لغلق الصمام. ويتم تصميم نظم الوضع الثابت في الغالب مع وجود صمام للتحكم عند المدخل إلى الخط الفرعي. وتكون الصمامات في الحالة العادية مغلقة ويتم فتحها من خلال إحداث إثارة كهربية لمدة طويلة من الزمن التي يتم خلالها إمداد المياه. ويسمح هذا بأن يعمل كل خط فرعي بشكل مستقل. ويتم استخدام جهاز التحكم لتحديد مدة تشغيل كل خط فرعي. وعندما يتم تشغيل عديد من الخطوط الفرعية في وقت واحد، فإن هذا الجمع يسمى دائرة أو منطقة. وتقوم نظم الوضع الثابت بتوفير سبل تحكم ممتازة في كمية المياه التي يتم إضافتها. وهناك إيجاز لبعض خصائص نظم الوضع الثابت في الجدول رقم (١٦,١).

تشمل عيوب نظم الوضع الثابت ما يلي:

• التكلفة العالية للتركيب والصيانة - ويكون هناك مزيد من الخطوط الجانبية المطلوبة أكثر لأجل النظام المتحرك بشكل دوري، والذي يعمل على زيادة التكاليف بشكل جوهري. وتعمل الصمامات الإلكترونية وأجهزة التحكم أيضاً على زيادة التكاليف. وتزداد التكاليف بشكل كبير عندما تكون الخطوط الرئيسة، والخطوط الفرعية مدفونة. وتتطلب كل الأجزاء العاملة القيام بالصيانة كي تعمل بصورة صحيحة.

• عدم المرونة الناتجة عن تركيب النظام في مواقع بعينها في الحقل - وإذا تغيرت ممارسات الإنتاج، مثل التغير في اتساع التنفيذ أو المسافة بين الصفوف، يكون من الصعب تعديل تخطيط نظام الوضع الثابت لتسهيل ممارسات الإدارة الجديدة.

• عدم الملاءمة للتحرك في المزارع - يعيب على هذه النظم التحرك في المناطق المزروعة عبر المزرعة ما لم يتم زراعة محاصيل معمرة وأن تبقى في نفس الموقع على مدى فترات طويلة من الزمن.

ومزايا نظام الوضع الثابت هي:

• تقوم هذه النظم بإمداد المياه بشكل منتظم عبر الحقل.
• تعمل هذه النظم على توفير تحكم سهل.
• يمكن أن تعمل نظم الوضع الثابت سليمة التصميم على تلبية احتياجات الترفيه مثل التحكم في الغابات.

(١٦,٥,١) اختيار الرشاش، والأداء والمسافات البينية

بشكل عام، يتم تصميم نظم الوضع الثابت لاستخدام التدفق المنخفض، والرشاشات متوسطة الضغط. ولكن، من الممكن استخدام رشاشات كبيرة إذا كان يتم تحريكها يدوياً أو إذا كانت لها صمامات منفردة بها. وسوف تختلف المسافة بين الرشاشات من وضع كل رشاش على مسافة تبعد ٩ م عن الرشاش الآخر، إلى وضع كل رشاش على مسافة تبعد ٧٣ م عن الرشاش الآخر. ومن الممكن أن تكون أحجام الفوهات صغيرة فتصل إلى ١,٥٩ مم أو ذات أحجام كبيرة تصل إلى ٣٦ مم، وتتراوح الضغوط بين ١٧٢ و٦٢٠ كيلوبسكال. وتعتمد المسافة بين الرشاشات على الرشاش والفوهة متحدين، وضغط التشغيل، ومعامل الانتظامية المطلوب (CU)، وسرعة الرياح، واستخدام النظام. وبالنسبة لمحاصيل معينة عالية القيمة، فمن الممكن أن يكون من المطلوب القيام بتصميم نظام لأجل معامل انتظامية عالي القيمة. ويجوز للمحاصيل ذات القيمة الأقل والتي ليس من المبرر ارتفاع تكلفة التصميم الرضا بمعامل انتظامية منخفض. وحيث إنه ليس من الممكن القيام بالتصميم بما يتوافق مع كل ظروف الرياح، فلابد من القيام بتصميم النظام بالنسبة للحالات المتوسطة. ومن الممكن أن يتطلب النظام الذي يتم تصميمه للغابات وللحماية من الصقيع معامل انتظامية عال كما يحدث عند تصميم نظام للتحكم في رطوبة التربة. والنظام المستخدم لاستكمال

نزول المطر من الممكن ألا يكون بحاجة إلى معامل انتظامية عال كذلك الذي يتم تصميمه بحيث يعتمد إنتاج المحصول فيه كلياً على الري.

(١٦,٥,٢) تصميم الرشاش ثابت التصرف

لقد تم وصف الخطوات العامة لتصميم نظم الوضع الثابت حيث تكون أحجام فوهات الرشاشات وأحجام الأنابيب موحدة، وكما تم الإشارة إلى أن هناك اختلافاً في التدفق على امتداد الخط الفرعي. ومن الممكن استخدام الخطوات التالية لتصميم خطوط الرش الفرعية الفردية، أو مجموعات الخطوط الفرعية والخط الرئيس المرتبط بها أو الخطوط شبه الرئيسة حيث يكون هناك اختلاف أقل بمجرد أن يتم تعيين المسافة بين الرشاشات وتصرفاتها. ومن الممكن حساب التدفق داخل أي مقطع من الأنبوب. ومن الممكن استخدام خطوات العمل لتصميم النظم الكاملة أو الأجزاء المتفرعة من النظم الكبيرة والتي تشمل الخطوات التالية:

١- افتراض أنه تم اختيار المسافة المناسبة بين الرشاشات، فإن الخطوة الأولى تتمثل في وضع تخطيط للخطوط الفرعية والخط الرئيس للنظام على خريطة طوبوغرافية للحقل، أو قياس ارتفاع كل موقع مقترح للرشاشات، وكذلك موقع وارتفاع مدخل النظام. ويتم تحديد ارتفاع موضع مخرج كل الرشاش.

٢- حساب التدفق في كل مقطع أنبوب على أنه إجمالي خلف سريان في هذا المقطع أو غيره. ومن اللازم إعادة حساب التدفقات عندما يتغير تدفق الرشاشات أو عدد الرشاشات التي يتم تشغيلها.

٣- اختيار أقطار الأنابيب للخط الرئيس والمقاطع الفرعية. وبشكل أولي، من الممكن اختيار قطر أنبوب كبير وذي مقطع واحد للخط الرئيس والخطوط الفرعية، ومن ثم يتم تقليل أقطار الأنابيب في مناطق معينة للوصول للتصميم الأمثل.

٤- تعيين ضاغط ضغط مفترض عند نقطة البداية في النظام، على أن يكون المدخل النقطة القريبة. ومن الممكن وضع ضغط البداية أقل من أو يساوي أدنى ضغط رشاش كاف.

٥- حساب الضغوط عند كل النقاط عن طريق أنبوب تعمل في وقت واحد من بداية السريان في اتجاه السريان أو عن طريق استخدام علاقة توزيع الضغط التي تم عرضها مسبقاً.

٦- تقييم توزيع الضغط. وإذا كانت بعض ضغوط الرشاشات غير كافية، يتم زيادة الضغط الداخل والعودة إلى الخطوة رقم ٥ إلى أن يتم الحصول على الحد الأدنى لضغط الرشاش. وإذا كانت كل ضغوط الرشاشات ضمن الحدود المطلوبة، فمن الممكن أن يكون التصميم مقبولاً، ولكن من الممكن أن يتم زيادة أقطار بعض الأنابيب. وإذا تجاوز مدى الضغوط الحد المطلوب، فإنه من الممكن أن يتم تقليل أقطار بعض الأنابيب، أو من الممكن أن تكون اختلافات الارتفاع كبيرة جداً.

٧- تقليل أقطار الأنابيب في مناطق محددة، وعادة قرب نهايات الخطوط الفرعية، أو في المناطق منخفضة الارتفاع، ثم العودة إلى الخطوة رقم ٥. ويتم تكرار العمل عند الضرورة حتى يتم الوصول إلى أفضل قيم لأقطار الأنابيب وتوزيع الضغط.

وعندما يتم حساب توزيع الضغط، فإنه يمكن حساب قطر الفوهة المطلوب لكل رشاش باستخدام التدفق المحدد والضغط المحسوب. وإذا كان مدى الضغوط ضيقاً بصورة كافية، فمن الممكن استخدام قطر واحد للفوهة. وبدلاً من ذلك من الممكن استخدام الرشاشات التي يتم تنظيم عملها بالضغط أو فوهات التحكم في التدفق.

وإذا كان يتم فقط تشغيل جزء من الخطوط الفرعية في كل مرة، فينبغي التحقق من تصميم الخط الرئيس مع كل مجموعة عمل لضمان وجود ضغط كاف لكل الأوضاع. ويمكن عادةً تقليل قطر الخط الرئيس عن طريق توزيع الخطوط الفرعية العاملة بشكل منتظم قدر الإمكان عبر الخط الرئيس بأكمله. ومع ذلك، قد يكون من المرغوب فيه لأسباب زراعية أن يتم التركيز على الخطوط الفرعية العاملة، وفي هذه الحالة فإن الخطوط الفرعية الموضوعة على أبعد مسافة من المدخل سوف تملي عادة خط التصميم الرئيس.

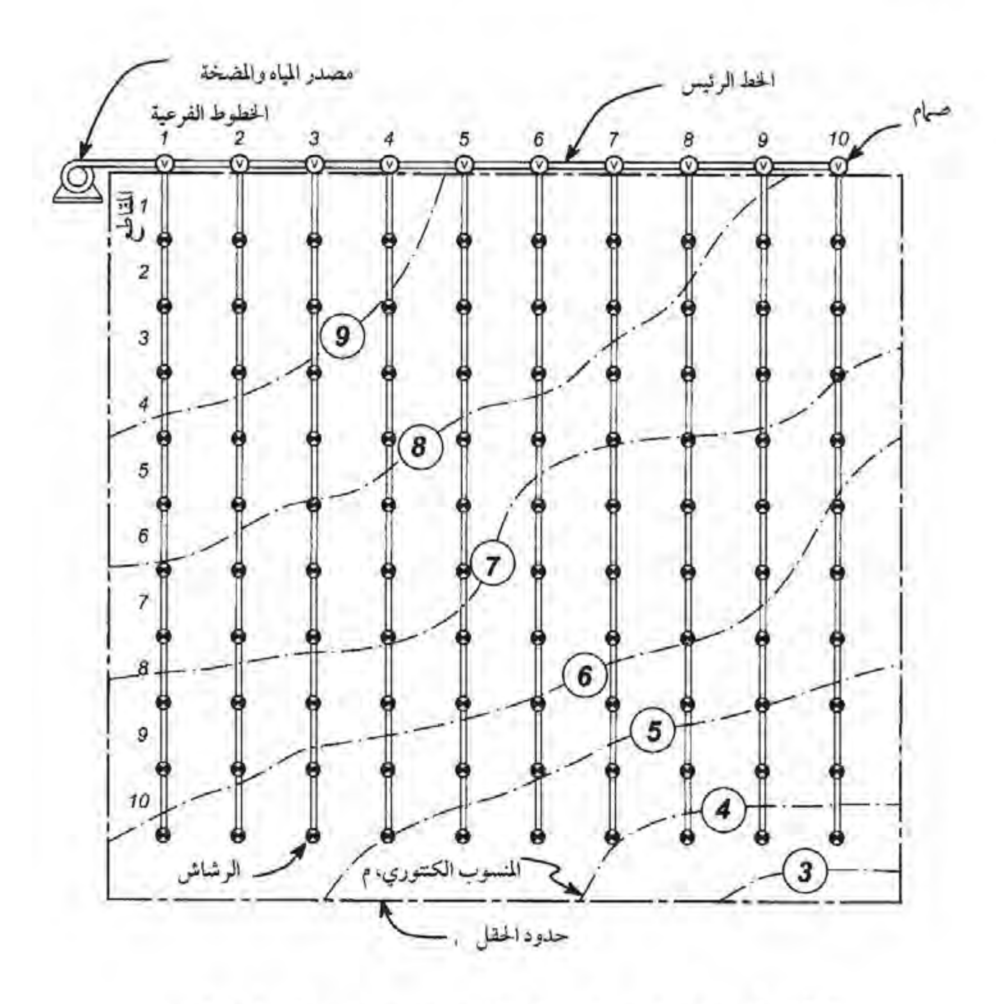
ولابد من الأخذ في الاعتبار اختلاف التضاريس مع كل وضع من الأوضاع. وإذا كانت اختلافات المناسيب كبيرة في الاتجاه العمودي على الخط الفرعي، فيصبح

من المطلوب استخدام الرشاشات التي يتم تنظيم عملها بالضغط أو الفوهات التي تتحكم في التدفق. وأيضاً، إذا كان من الممكن تشغيل أعداد مختلفة من الخطوط الفرعية في أوقات مختلفة، فمن الممكن أن يتغير ضغط المدخل.

ومن الممكن أن يتم إعادة حساب تدفق الرشاش، أو الضغط الداخل، أو خشونة الأنابيب، أو أي من أقطار الأنابيب التي من الممكن أن تتغير قيمها عند استخدام جداول العمل. وإذا كان يتم تغيير المسافات بين الرشاشات، فإن التخطيط، وبالتالي الارتفاعات ستكون بحاجة إلى أن تتغير وفقاً لهذا. ويمكن تقصير طول الخطوط الفرعية عن طريق جعل أقطار أنابيب في اتجاه السريان تساوي صفراً.

وفي حالة التدفق لأعلى، فمن الممكن مواجهة اختلافات كبيرة في ضغط لا يمكن تجنبها. ويمكن وضع صمامات تنظيم الضغط التي عند مداخل الخط الفرعي أو النقاط الأخرى لتقليل وتقييد الضغط بقيمة محددة. مثل تلك النقاط التي يتم التحكم بها بالضغط من الممكن أن يتم استخدامها كنقطة بدء لإجراء العمليات الحسابية للضغط. وبدلاً من ذلك، من الممكن استخدام أجهزة تنظيم ضغط على الرشاش منفردة للحد من الضغط وضغط الفوهة، ومن الممكن أن يزداد ضغط المدخل للحفاظ على الحد الأدنى من الضغط عبر النظام بأكمله. وسوف توضح الأمثلة التالية خطوات التصميم.

مثال رقم ١: حقل أبعاده ١٦٠ م × ١٨٠ م، يتم ريه كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,١٤). وتم اختيار مسافة قدرها ١٧ م على امتداد الخط الرئيس وقدرها ١٥ م على امتداد الخطوط الفرعية، ويبلغ تدفق الرشاش ٠,٨ لتر/ث، ويقع المدخل عند المضخة التي على بعد مسافة واحدة من الخط الرئيس عن الفرع الأول في اتجاه السريان. ويبلغ ارتفاع المضخة ١٠م. ويوضح الشكل رقم (١٦,١٥) الحسابات باستخدام برنامج جدول العمل. والأرقام التي يتم كتابتها بخط سميك توضح البيانات المطلوب إدخالها. ويعطي الجزء أ خشونة الأنبوب (معامل هيزن-ويليام C)، وتدفق الرشاشات، والمسافات البينية، وضغط وارتفاع المضخة (المدخل)، والتصرف الكلي والمتوسط المحسوب ونسبة الاختلاف في ضغوط الرشاشات.



الشكل رقم (١٦,١٤). منظر مسطح لحقل مروي باستخدام نظام الرش الثابت.

ويعطي الجزء ب عدداً من الرشاشات أو مقاطع الأنابيب على كل خط فرعي، ومناسيب وأقطار مقاطع الخط الرئيس أمام سريان من كل خط فرعي، والتي يتم حسابها من الضغوط للخط الرئيس، أدنى ضغوط للخطوط الفرعية، والفرق في الضغط على الخط الفرعي، والتدفق في كل مقطع من الخط الرئيس، والسرعات في الخط الرئيس. ويتم

تسمية الخطوط الفرعية على أن تكون في وضع التشغيل والإيقاف عن طريق إدخال القيمتين ١ أو صفر لعمود التشغيل أو الإيقاف (الشكل رقم ١٦,١٥). ومن الممكن أن يتم إيقاف الخطوط الفرعية الفردية لمحاكاة الأوضاع الأصغر أو نظم الخطوط الفرعية المتنقلة.

وتعطي الأجزاء من ج إلى و المناسيب، وأقطار الأنابيب، وضاغط الضغط للرشاشات، وأقطار الفوهة المحسوبة على الشبكة المناظرة لشبكة التصميم التي توجد في الشكل رقم (١٦,١٥). ويتم وضع هذه الرشاشات في نهاية خط السريان من كل مقطع من الخط الفرعي.

وبعد الخطوات السابقة، يتم إدخال المناسيب وأقطار الأنابيب (الجزئيين ج ، د). ويتم حساب التدفقات في الخط الرئيس والخطوط الفرعية عن طريق تجميع تدفقات الرشاشات خلف السريان من كل مقطع من الأنبوب. وضغط المضخة الداخل المقترح الذي يساوي ٥٠ م يصبح الضغط الداخل للخط الرئيس.

ومن المفترض أنه سيتم تشغيل كل الخطوط الفرعية العشرة في وقت واحد، وبهذا يكون التدفق في المقطع الأول للخط الرئيس ٨٠ لتر/ث ويبلغ قطره ٢٠٠ مم، ويبلغ الفاقد بالاحتكاك به ٠,٦ م. وضغط المخرج من المقطع الأول يساوي ٤٩,٥ م ($50-0.6+10-9.9=49.5$ m)، والذي يصبح ضغط المدخل للمقطع الثاني من الخط الرئيس وهو ضغط مدخل الخط الفرعي الأول. وقد تم حساب الضغوط للخط الفرعي الأول لكل مقطع منه في وقت واحد، ووجد أن أدنى ضاغط ضغط يساوي ٣٩,٩م (في المقطع ٨ حيث إن الخطوط الفرعية تنحدر لأسفل). وقد تم حساب المقاطع للخط الرئيس والخطوط الفرعية المتعاقبة حتى نهاية الخط الفرعي الأخير. وكان أدنى ضاغط ضغط هو ٣٩,٦ م في الخط الفرعي ٢.

يعد اختيار قطر الأنبوب وإعادة التعديل العملية التكرارية الأساسية في هذا الإجراء. ففي هذا المثال تم تعديل أقطار الأنابيب بحيث يصبح الفرق في الضغط داخل الخطوط الفرعية أقل من ٢٠٪ من أدنى ضغط. وقد تم تقليل قطر الأنبوب في المقطع الأول من الخط الفرعي ٢ حتى يعمل على تقليل الضغوط الجانبية وبالتالي يعمل على

تقليل الاختلاف الكلي في الضغط إلى أقل من ٢٠٪. وتعد بالتالي أقطار الفوهة المحسوبة منتظمة تقريباً، ومن الممكن اختيار قطر واحد للفوهات. وإذا كان هناك حاجة لأقطار فوهات مختلفة للحفاظ على تدفقات منتظمة، فيمكن للمصمم أن يختار قطر الفوهة المتاح الأقرب للقطر المحسوب.

أ) البيانات الأساسية					
المسافات على الخط الرئيس	١٧	م	المسافات بين الرشاشات	١٥	م
تصرف الرشاش	٠,٨	لتر/ث	معامل هيزن–ويليم، C	١٢٠	
منسوب المضخة	١٠	م	متوسط الضغط	٤٣,٨	م
ضاغط ضغط المضخة	٥٠	م	نسبة التغير في الضغط	٧,٣	٪

ب) ملخص الخط الرئيس والخط الفرعي

NL	Nsp	ON:OFF	Dia	EL	Pm	Pmin	DP	Qtotal	QL	Vel
		٠ : ١	مم	م	م	م	م	لتر/ث	لتر/ث	م/ث
١	١٠	٠	١٥٠	٩,٩	٥٠,٠	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٠,٩
٢	١٠	٠	١٥٠	٩,٧	٥٠,٠	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٠,٩
٣	١٠	٠	١٥٠	٩,٥	٥٠,١	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٠,٩
٤	١٠	٠	١٠٠	٩,٢	٤٩,٥	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٢,٠
٥	١٠	٠	١٠٠	٨,٩	٤٨,٩	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٢,٠
٦	١٠	٠	١٠٠	٨,٧	٤٨,٢	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٢,٠
٧	١٠	٠	١٠٠	٨,٥	٤٧,٥	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٢,٠
٨	١٠	٠	١٠٠	٨,٣	٤٦,٨	٩٩٩	٠,٠	١٦	٠	٢,٠
٩	١٠	١	١٠٠	٨,٢	٤٦,٠	٤٢,٤	٣,١	١٦	٨	٢,٠
١٠	١٠	١	١٠٠	٨,٠	٤٥,٩	٤٢,٣	٣,٠	٨	٨	١,٠

الشكل رقم (١٦,١٥). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية لنظام الوضع الثابت مع وجود ١٠ خطوط فرعية، حيث: P_m ضاغط الضغط عند مخرج الخط الرئيس أو مدخل الخط الفرعي، و P_{min} أدنى ضغط، و DP الفرق في الضغط على الخط الفرعي، و N_s عدد الرشاشات على الخط الفرعي (تشغيل:إيقاف = ٠ : ١)، و Q_L التصرف في الخط الفرعي ، و Q_{tot} التدفق الكلي في المقطع من الخط الرئيس، و E_L ارتفاع مدخل المقطع من الخط الرئيس (م).

المقطع	رقم الخط الفرعي									
	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
ج) قطر الأنبوب، مم										
١	٥٠	٥٠	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٢	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٣	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٤	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٦	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٧	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٨	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٩	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
١٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠
د) المنسوب، م										
١	٩,٧	٩,٥	٩,٤	٩,١	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,٢	٧,٨	٧,٧
٢	٩,٥	٩,٣	٩,٢	٩,٠	٨,٥	٨,٤	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٤
٣	٩,٢	٩,١	٨,٩	٨,٥	٨,١	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٢	٧,١
٤	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,١	٧,٨	٧,٥	٧,١	٧,٠	٦,٨	٦,٥
٥	٨,٣	٨,٢	٨,٠	٧,٧	٧,٤	٧,٠	٦,٧	٦,٧	٦,٥	٦,٠
٦	٨,٠	٧,٧	٧,٦	٧,٤	٧,١	٦,٦	٦,٤	٦,٤	٦,٢	٥,٦
٧	٧,٥	٧,٣	٧,٢	٧,٠	٦,٦	٦,٤	٦,١	٦,٠	٥,٧	٥,٤
٨	٧,٠	٦,٧	٦,٦	٦,٤	٦,٢	٥,٨	٥,٤	٥,٣	٥,١	٤,٩
٩	٦,٤	٦,١	٥,٩	٥,٧	٥,٤	٥,٢	٤,٧	٤,٤	٤,٤	٤,٣
١٠	٥,٨	٥,٦	٥,٤	٥,١	٤,٧	٤,٤	٤,١	٣,٧	٣,٦	٣,٥

تابع الشكل رقم (١٦,١٥). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية لنظام الوضع الثابت مع وجود ١٠ خطوط فرعية.

هـ) ضاغط الضغط، م										
١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٥,٥	٤٥,٤
٢	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٥,٠	٤٤,٩
٣	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٤,٨	٤٤,٦
٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٤,٧	٤٤,٨
٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٤,٧	٤٤,٩
٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٣,٢	٤٣,٥
٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٢,٥	٤٣,٥
٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٢,٤	٤٢,٣
٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٢,٨	٤٢,٦
١٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٢,٥	٤٢,٣
و) قطر الفوهة، مم										
١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٨	٥,٨
٢	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
٣	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩
١٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩	٥,٩

تابع الشكل رقم (١٦,١٥). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية لنظام الوضع الثابت مع وجود ١٠ خطوط فرعية.

مثال رقم ٢: هذا المثال يستخدم نفس الحقل ونفس التخطيط في مثال رقم ١ ، والذي يعمل عن طريق تشغيل كل خطين فرعيين متجاورين للمجموعة الواحدة. وترد النتائج في الشكل رقم (١٦,١٦) للخطوط الفرعية ٩ و١٠ ، وهي الخطوط الفرعية الأبعد عن المضخة. ويقل التدفق الكلي في المضخة إلى ١٦ لتر/ث. ويتم تخفيض أقطار أنابيب الخط الرئيس طبقاً لهذا. وأقطار أنابيب الخطوط الفرعية هي نفسها كما في مثال رقم ١. ومتوسط الضغط P_{av} ، والاختلاف في الضغط P_{var} هي للخطوط الفرعية العاملة فقط.

أ) البيانات الأساسية

المسافات على الخط الرئيس	١٧	م	المسافات بين الرشاشات	١٥	م
تصرف الرشاش	٠,٨	لتر/ث	معامل هيزن–ويليم، C	١٢٠	
منسوب المضخة	١٠	م	متوسط الضغط	٤٥,١	م
ضاغط ضغط المضخة	٥٠	م	نسبة التغير في الضغط	٦,٧	٪

ب) ملخص الخط الرئيس والخط الفرعي

NL	Nsp	ON:OFF	Dia	EL	Pm	Pmin	DP	Qtotal	QL	Vel
		١:٠	مم	م	م	م	م	لتر/ث	لتر/ث	م/ث
١	١٠	٠	١٠٠	٩,٩	٤٩,٨	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٠
٢	١٠	٠	١٠٠	٩,٧	٤٩,٨	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٠
٣	١٠	٠	١٠٠	٩,٥	٤٩,٧	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٠
٤	١٠	٠	١٠٠	٩,٢	٤٩,٨	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٠
٥	١٠	٠	١٠٠	٨,٩	٤٩,٨	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٠
٦	١٠	٠	١٠٠	٨,٧	٤٩,٨	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٠
٧	١٠	٠	١٠٠	٨,٥	٤٩,٧	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٠
٨	١٠	٠	٧٥	٨,٣	٤٨,٩	٩٩٩	٠,٠	٨	٠	١,٨
٩	١٠	٠	٧٥	٨,٢	٤٨,٠	٩٩٩	٣,١	٨	٠	١,٨
١٠	١٠	١	٧٥	٨,٠	٤٧,٢	٤٣,٦	٣,٠	٨	٨	١,٨

الشكل رقم (١٦,١٦). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية بالنسبة لنظام الوضع الثابت مع وجود ٢ خط فرعي في المجموعة، حيث: P_m ضاغط الضغط عند مخرج الخط الرئيس أو مدخل الخط الفرعي، و P_{min} أدنى ضغط، و DP الفرق في الضغط على الخط الفرعي، و N_s عدد أجهزة الرش على الخط الفرعي (تشغيل:إيقاف = ٠، ١)، وQ_L التدفق الفرعي الكلي، وQ_{tot} التدفق الكلي في الجزء من الخط الرئيس، وE_L ارتفاع مدخل الجزء من الخط الرئيس (م).

المقطع	رقم الخط الفرعي ١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
ج) قطر الأنبوب، مم										
١	٥٠	٥٠	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٢	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٣	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٤	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٦	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٧	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٨	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٩	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
١٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠
د) المنسوب، م										
١	٩,٧	٩,٥	٩,٤	٩,١	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,٢	٧,٨	٧,٧
٢	٩,٥	٩,٣	٩,٢	٩,٠	٨,٥	٨,٤	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٤
٣	٩,٢	٩,١	٨,٩	٨,٥	٨,١	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٢	٧,١
٤	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,١	٧,٨	٧,٥	٧,١	٧,٠	٦,٨	٦,٥
٥	٨,٣	٨,٢	٨,٠	٧,٧	٧,٤	٧,٠	٦,٧	٦,٧	٦,٥	٦,٠
٦	٨,٠	٧,٧	٧,٦	٧,٤	٧,١	٦,٦	٦,٤	٦,٤	٦,٢	٥,٦
٧	٧,٥	٧,٣	٧,٢	٧,٠	٦,٦	٦,٤	٦,١	٦,٠	٥,٧	٥,٤
٨	٧,٠	٦,٧	٦,٦	٦,٤	٦,٢	٥,٨	٥,٤	٥,٣	٥,١	٤,٩
٩	٦,٤	٦,١	٥,٩	٥,٧	٥,٤	٥,٢	٤,٧	٤,٤	٤,٤	٤,٣
١٠	٥,٨	٥,٦	٥,٤	٥,١	٤,٧	٤,٤	٤,١	٣,٧	٣,٦	٣,٥

تابع الشكل رقم (١٦,١٦). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية بالنسبة لنظام الوضع الثابت مع وجود ٢ خط فرعي في المجموعة.

هـ) ضاغط الضغط، م										
١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٦,٦
٢	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٦,٢
٣	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٥,٩
٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٦,٠
٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٦,٢
٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٤,٨
٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٣,٨
٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٣,٦
٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٣,٩
١٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤٤,٦
و) قطر الفوهة، مم										
١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٨
٢	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٨
٣	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٨
٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٨
٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٨
٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩
٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩
٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩
٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩
١٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥,٩

تابع الشكل رقم (١٦,١٦). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية بالنسبة لنظام الوضع الثابت مع وجود ٢ خط فرعي في المجموعة.

(١٦,٥,٣) توجيهات التشغيل والصيانة

يعتمد نمط تشغيل نظام الرش بالوضع الثابت على تصميم واستخدام النظام، والعمالة المتاحة، ومصدر المياه، ورأس المال المتاح. ويمكن تصميم النظام باستخدام الخطوط الفرعية أو طريقة تصميم المساحة. ومع تصميم الخطوط الفرعية يتم التحكم في الخطوط الفردية عن طريق الصمامات في بدايتها، ومن الممكن أن يتم تشغيل أي خط فرعي كما هو مطلوب. وعادة، يتم تشغيل أكثر من خط فرعي واحد في نفس الوقت، ولكن تكون الخطوط الفرعية العاملة معاً واسعة الفصل فيما بينها في الحقل. وتعمل طريقة تصميم الخط الفرعي على تقليل قطر الخط الرئيس أو قطر أنبوب الإمداد، ولكنها تعمل على زيادة عدد الصمامات المطلوبة وكذلك الزمن المطلوب لفتح وغلق الصمامات عندما يتم استخدام نظام صمامات يدوية. وباستخدام طريقة تصميم المساحة، فإن جزءًا مجاوراً للحقل يتم ريه في المرة الواحدة. وعادة يتم تركيب خط شبه رئيس لإمداد المياه لهذا الجزء من الحقل.

وبالنسبة للحماية من التجمد والصقيع، فمن الممكن أن يتم تشغيل النظام بأكمله مرة واحدة. وبناءً على المحصول الذي يتم حمايته، فإن معدل الإضافة سوف يتراوح بين ٢ و٥ مم/ساعة. وفي شرق الولايات المتحدة، تم تصميم معظم نظم ري البساتين بحيث يتم إضافة المياه فوق المحصول. وفي غرب الولايات المتحدة، يتم استخدام نظم الري تحت الشجر وفوق الشجر، ولكن، مع وجود مياه مالحة فمن الممكن أن يتم استخدام نظم تحت الشجر بنجاح.

وإذا كان يتم استخدام النظام بشكل حصري لأجل الري، فإن جزءًا فقط من النظام يعمل بشكل طبيعي مرة واحدة. وحيث يكون هناك حاجة للتشغيل على مدى عدة ساعات من الري، فإن التحكم من الممكن أن يكون يدوياً أو آلياً. وبالنسبة لنظام ري محصول ضحل الجذور ينمو في تربة خشنة القوام، أو في مشاتل زراعية حيث يكون من المطلوب القيام بالري اليومي أو المتكرر، فمن الأفضل القيام بالتحكم الآلي في تتابع النظام. وحيثما تكون العمالة محدودةً جداً، فإن التحكم الآلي يكون مطلوباً

بغض النظر عن تكرار الري، ولكن هذا سوف يؤدي إلى زيادة الاستثمار الأولي. وعلى العكس، فإن رأس المال المحدود من الممكن أن يتطلب نظاماً سنوياً بشكل مجمل. والمصدر المائي المحدود، مثل بئر أو مجرى مائي، مما يعني أن جزءًا فقط من النظام يمكن تشغيله في وقت واحد.

(١٦,٦) الخطوط الفرعية المتنقلة دورياً

إن نظم الري بالرش في هذا النوع تحتوي على خطوط فرعية يتم نقلها بين مواضع الري. وهي تظل ثابتة أثناء الري. ويتم تفريغ الخطوط الفرعية قبل نقلها إلى الموضع التالي، ويتم استخدام مجموعة نقل الخطوط الفرعية بين المواضع على نطاق واسع بسبب تكلفتها المنخفضة نسبياً وتكيفها مع مدى واسع من المحاصيل، وأنواع التربة، وأنواع الطبوغرافيا، ومساحة الحقل. وتعد تكلفة المعدات معتمدة بدرجة كبيرة على عدد المواضع المروية عن طريق كل خط فرعي. وهي تتلاءم بدرجة جيدة مع التربة ذات السعة الكبيرة للاحتفاظ بالمياه، والمحاصيل عميقة الجذور، والمحاصيل بطيئة النمو، والري التكميلي، وإدارة الري الناقص. ومن الممكن تصنيفها على أنها نظم الحركة اليدوية أو نظم الحركة الميكانيكية. وتعد نظم الحركة الميكانيكية شبيهة بنظم الحركة اليدوية فيما عدا أن أنواع الأنابيب والأحجام غالباً ما تمليه الخواص الميكانيكية فضلاً عن الاعتبارات الهيدروليكية.

ويتكون النظام من الخطوط الفرعية، خط الأنابيب له منافذ لتوزيع مياه الري إلى الرشاشات التي يتم نقلها بشكل دوري في جميع أنحاء الحقل. ويتكون الخط الفرعي من عدة أنابيب التي تبلغ أقطارها من ٥٠ إلى ١٥٠ مم وأطوالها من ٦ إلى ١٨ م (الشكل رقم ١٦,١). ويتم تركيب مقرنة عند أحد أطراف كل أنبوب. ويتم إدخال الطرف الأخر من الأنبوب إلى مقرنة الأنبوب التالي أمام السريان وتثبيتها بخطاف مثبت بمزلاج في المقرنة أو الحلقة. وهناك أنواع جديدة من القارنات يتم تطويرها في الوقت الحالي تستخدم الآليات المختلفة لربط أو توصيل الأنابيب. ويتم تركيب الحشوات في

المقرنة لمنع التسريب عندما يُضغط النظام. وتقوم الأنابيب الصغيرة، التي تُسمى بالرافعات أو الحوامل، بنقل المياه من الخط الفرعي إلى الرشاش. ويتم تزويد المياه إلى الخطوط الفرعية عن طريق الخطوط الرئيسة، أو الخطوط شبه الرئيسة التي تتفرع من الخط الرئيس.

والنظم الأكثر شيوعاً في الاستخدام تتكون من خط رئيس مركزي مفرد مع واحد أو أكثر من الخطوط الفرعية التي تقوم بالري على كلا الجانبين من الخط الرئيس. وإذا كان هناك عديد من الخطوط الفرعية، فإنه يتم جعل المسافات بينها بشكل متساو، لذلك بحلول الوقت الذي يصل فيه أي خط فرعي لموضع البداية من الخط الفرعي السابق له، فإن الحقل بأكمله يكون قد تم ريه لمرة واحدة. إن المسافة بين الرشاشات على الخطوط الفرعية وبين الأوضاع المتعاقبة لكل خط فرعي هي التي تعطي أنماط توزيع المياه من الرشاشات والتي تمنح تقريباً التداخل الكامل. وغالباً ما تتطلب النظم الكبيرة وجود خطوط رئيسة متعددة، بالرغم من أن النظم البسيطة تكون ممكنة على الحقول المستطيلة حتى على الأقل مساحة ٦٤ هكتاراً.

وعادة يتم وضع الصمامات التي على شكل حرف T في الخط الرئيس عند الفواصل المرغوبة لضبط المسافات بين الخطوط الفرعية. ويتم التحكم في الصمامات التي شكل حرف T عن طريق استغلال كوع فتح الصمام الذي يعمل على الاتصال بين الخط الرئيس والخطوط الفرعية. ومسافات الصمامات الشائعة هي ١٢,٢، ١٥,٢، ١٨,٣، ٢٤,٤ م. وحيث إن الأطوال الشائعة في الأنابيب هي ٦,١، ٩,١، ١٢,٢، ١٥,٢ م، فإن المسافة المرغوبة بين الصمامات يتم الحصول عليها عن طريق استخدام تجميعات مختلفة من الأطوال. وفي كثير من النظم يكون من المفضل استخدام الخطوط الرئيسة المدفونة. ولابد من وضع الأنابيب بأمان أسفل عمق الحرث ولابد كذلك أن يكون أقل من عمق الصرف، مالم يتم القيام بتجهيزات لتصريف الأنابيب.

إن مزايا النظم دورية الانتقال هي أن :

- تكاليف الاستثمار منخفضة.
- يقدم النظام قسطاً كبيراً من المرونة.
- من السهل فهم وتشغيل النظم.
- تكون الرشاشات والفوهات من نفس الأحجام بشكل عام، مما يضاعف من القدرة التبادلية على التغيير.

وعيوب النظم دورية الانتقال هي :

- متطلبات العمالة العالية.
- الإضافات الكبيرة نسبياً للمياه في كل عملية ري.
- الانتظامية القليلة عندما يكون الحجم المنتظم للفوهة يتم استخدامه على الخطوط الفرعية الطويلة أو التضاريس الوعرة.
- يتطلب زمناً لتفريغ الخطوط الفرعية قبل نقلها.

وإن إضافة المياه والخصائص الأخرى للنقل اليدوي، وحبل السحب ونظم الحركة المستقيمة تكون متماثلة جداً، وهناك عرض لخصائص النظام في الجدول رقم (١٦,١).

(١٦,٦,١) الهيدروليكا

تمت مناقشة التصميم الهيدروليكي للخطوط الفرعية المتنقلة في الفصل الخامس عشر وبشكل مسبق في هذا الفصل. ومع هذه النظم تكون أحجام الرشاش والفوهات بوجه عام ثابتة ويكون قطر الأنبوب في الخط الفرعي منتظماً. وبالتالي، يتم تطبيق الخطوات التي تم ذكرها في أجزاء سابقة من هذا الفصل. والخطوات العامة هي تخطيط حدود الحقل، ومصدر المياه وموقع المضخة. ويتم وضع الخط الرئيس في أغلب الأحيان أسفل منتصف الحقل لتقليل فواقد الضغط في الخطوط الفرعية الطويلة. ويتم اختيار المسافة بين الرشاشات والخطوط الفرعية لتتلاءم مع الحقل. ومع التخطيط الأولي يتم تحديد تصرف الرشاش والخط الفرعي.

ويتم حساب أدنى متوسط ضغط بالنسبة للقطر المختار لأنبوب الخطوط الفرعية. ومن هذه البيانات يمكن تحديد أقطار الفوهات. ولابد أن يكون قطر التغطية للرشاش كبيراً بدرجة كافية لتوفير التداخل الكافي. وإذا كانت كل المكونات كافية فيلزم حساب ضغط المدخل لكل موضع للخط الفرعي. ولابد من اختيار الخط الرئيس لتوفير أعلى انتظامية يمكن الوصول إليها. ولابد من تحديد تكلفة بدائل التصميم. وبالنسبة للتصميم النهائي، لابد من تحديد مواصفات المنتج والخطة التشغيلية ومناقشتها مع العميل. وهناك مناقشة للاعتبارات الخاصة لكل نوع من النظم دورية الانتقال المذكورة لاحقاً.

(١٦,٦,٢) الخطوط الفرعية المنقولة يدوياً

تتضمن النظم الأولى دورية نقل الخطوط الفرعية يدوياً والتي كان يتم نقلها عن طريق حمل أجزاء الأنابيب عبر الحقل. وبين عمليات النقل تعمل الخطوط الفرعية لفترة من الزمن (زمن الري للمجموعة) ويتم إضافة المياه إلى جزء من الحقل (المجموعة) (الشكل رقم ١٦,١٧). ويُسمى هذا بالنظام المنقول يدوياً. وهو يتطلب كمية مكثفة من العمالة لنقل الخطوط الفرعية من مجموعة أو وضع ما إلى التي تليها، مما يشجع على النقل المتكرر الذي يؤدي إلى إضافات كبيرة من المياه في كل عملية ري.

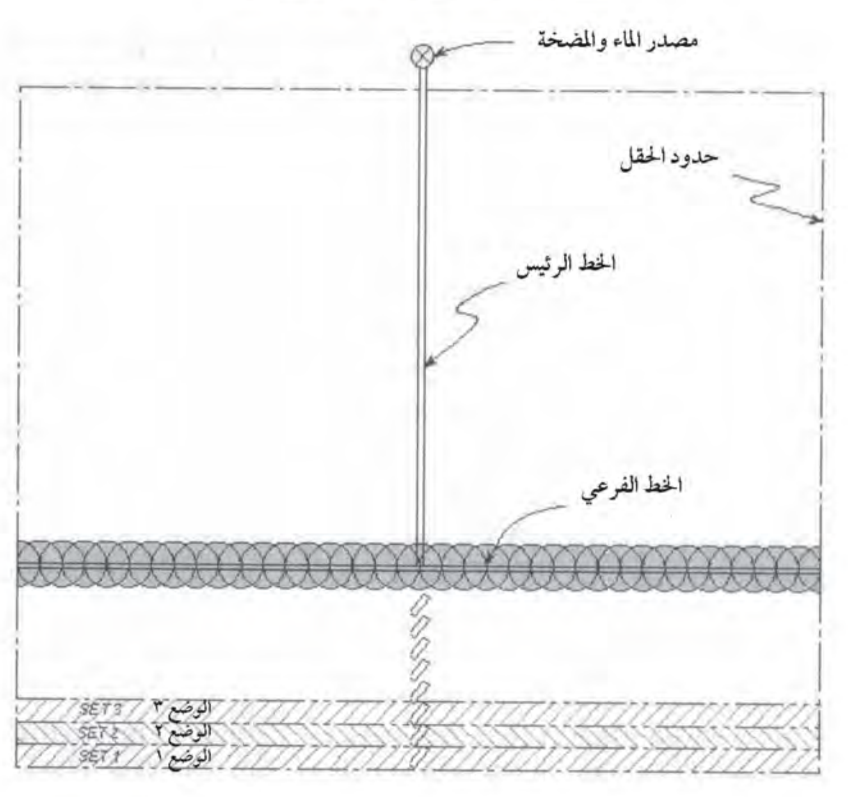
وتعد النظم المنقولة يدوياً هي أقل تكلفة في المعدات عن نظم نقل الخطوط البديلة، ولكنها تتطلب عمالة أكثر. ونقص العمالة المتاحة هو السبب الرئيس الذي لأجله يميل المزارعون تجاه استخدام نظم الري المحوري أو النظم الآلية الأخرى. ومعظم نظم الري بالرش المنقولة يدوياً تستخدم الآن الخطوط الفرعية من الألمونيوم، بالرغم من إتاحة البلاستيك. ومعظم قارنات أنابيب الخطوط الفرعية تحتوي على حشية مطاطية من نوع شيفرون والتي تمنع التسرب عند تعرضها للضغط، والتي يتم

تصميمها لتنغلق بمزلاج ذاتي عندما يتم ربط الأنابيب معاً. وتحتوي كثير من القارنات على تعديل اختياري لعملية الفك الأسهل. ومن الممكن أن يتم تركيب القارنات الخطافية والتي تنغلق بمزلاج بحيث تنفتح بشكل ذاتي عندما يقوم من يقوم بالري بدفع وليّ الأنبوب. وتقوم القارنات التي على شكل كرة والقارنات المجوفة بالانغلاق بمزلاج بشكل آلي عندما تكون الأنبوب تحت ضغط، وتنفتح عندما يزول الضغط. ولقارنات الغلق بالإسقاط خطافات تتراكب عندما يتم إنزال الأنبوب إلى الأرض. ويعمل الفتح الآلي على توفير بعض السير، ولكنها من الممكن أن تؤدي إلى زيادة خطر الفتح غير المقصود. وفي مقابل حشيات الخط الرئيس، فإنه يتم تصميم حشيات الخط الفرعي لتحرير قبضتهم المحكمة مع الأنبوب عندما يقل الضغط على المياه. ويسمح هذا بتفريغ المياه من الأنبوب عندما يتوقف الضغط وبهذا يمكن تحريك الأنبوب بسهولة إلى الموضع التالي.

ويتم وضع القارنات وراء بعضها بحذر لتلاقي أنبوب حامل الرشاش، التي يكون قطرها عادة ٢٥ مم. وإذا كان كل من القارنة والحامل من الألمونيوم، فمن المعتاد أن يتم وصلهما معاً بسبيكة من الزنك أو بشريط من التفلون لتجنب إحكام الربط. ولابد أن يرتفع الحامل على الأقل حتى قمة الغطاء النباتي، ولكن تتحسن انتظامية توزيع المياه إذا امتدت مسافة ٠,٥ م أخرى.

وعادة يمكن تحسين انتظامية توزيع المياه باستخدام أنبوب تعويض بكوع بزاوية ٩٠° عند كل عملية ري تالية. وموضع أنبوب التعويض يجب أن يقابل نصف المسافة بين المواضع الفرعية. واستخدام أنبوب التعويض يسمح بوضع أنبوب الخط الفرعي في منتصف المسافة بين المواقع التي تم استخدامها أثناء عملية الري السابقة. وهكذا، بافتراض أنه تمت إضافة عمليتي ري معاً، فإن ١٢,٢ م بمسافة بينية ١٨,٣ م، على سبيل المثال، يتم تقليلها بفاعلية إلى ١٢,٢ م بمسافة بينية ٩,٢ م.





الشكل رقم (١٦,١٧). صورة ورسم تشغيلي لنظام الري المنقول يدوياً. وتتراوح أقطار الأنابيب الشائعة بين ٥١ و١٥٢ مم، وأطوالها ٦,١، ٩,٢، ١٢,٢ م. وطول أنابيب الألمونيـــوم الأكثر شيوعاً في الاستخدام للخط الفرعي ٩,١ أو ١٢,٢ م. والأطوال الأقصر تعني مزيد من السير أثناء النقل. وتكون الخطوط الأطول أكثر صعوبة للنقل ولا توفر المسافات الصحيحة لأحجام الرشاشات الشائعة.

وأحد الإجراءات الجيدة للري الذي يتم اتباعه عند نقل الخطوط الفرعية من وأحد المواضع إلى الذي يليه يكون من خلال البدء بنقل كوع الصمام المفتوح والجزء من الأنبوب المتصل به. وبمجرد أن تصير هذه القطع في مكانها في الموقع الجديد، فإنه يتم فتح الصمام قليلاً وبهذا تخرج كمية صغيرة جداً من تيار المياه من طرف الأنبوب الأول. وعند وضع كل جزء متتابع من الأنبوب في مكانه، فإن هذا الجزء الصغير من التيار المائي يسير خلالها، طارداً أي تربة أو حطام من الممكن أن يكون قد علق أثناء النقل. والجزء الأخير من الأنبوب مع وجود سدادتها في مكانها من الممكن أن يركب قبل أن يصل التيار المائي إلى الطرف ويعمل على تكوين زيادة في الضغط. ثم يعود من يقوم بالري للخلف على امتداد الخط الفرعي، مصححاً وضع توصيل أي رشاش، وأي حشيات مسربة، أو حوامل مائلة. وبعد العودة إلى الخط الرئيس، يتم فتح الصمام بشكل أكبر إلى أن يتم الحصول على الضغط المرغوب. ويتم التحقق السريع من تأكيد ضبط الصمام باستخدام مقياس أنبوب بيتوت على الرشاش الأول. ولتوفير الوقت في كل تنقل فرعي، فإن هناك ميلاً لفتح الصمام بشكل كامل وملء الخط بأكبر سرعة ممكنة. وهذا يتسبب في حدوث طرق مائي عند النهاية القصوى من الخط، وبهذا ربما يكون هناك حاجة لسدادة الدفق عند هذا الطرف. إن الرشاشات شائعة الاستخدام في النظم المنقولة يدوياً من الممكن أن يكون لها فوهة واحدة أو فوهتان. وعادة، تتراوح تصرفات الرشاشات الفردية بين حوالي ٠,٠٦ و٠,٦٣ لتر/ث. وتتراوح ضغوط التشغيل بين ٢٤٠ و٤١٥ كيلوبسكال.

وتتطلب محاصيل معينة، مثل البساتين، رشاشات مصممة بشكل خاص. عندما يتم استخدام الرشاشات فوق قمم الأشجار، من الممكن أن يتم استخدام النماذج التقليدية. ولكن، عندما يتم استخدامها تحت الأشجار، فلابد من استخدام الرشاشات التي لها مسار مائي منخفض. وخفض المسار المائي يعمل على تقليل الانتظامية، ما لم يتم تقليل المسافات البينية. وتمثل الأشجار مصفوفة السياج مشكلة صعبة، وخاصة إذا كان من المطلوب الري خلال الأجزاء السفلى من الصفوف.

(١٦,٦,٣) نظم السحب بالحبل

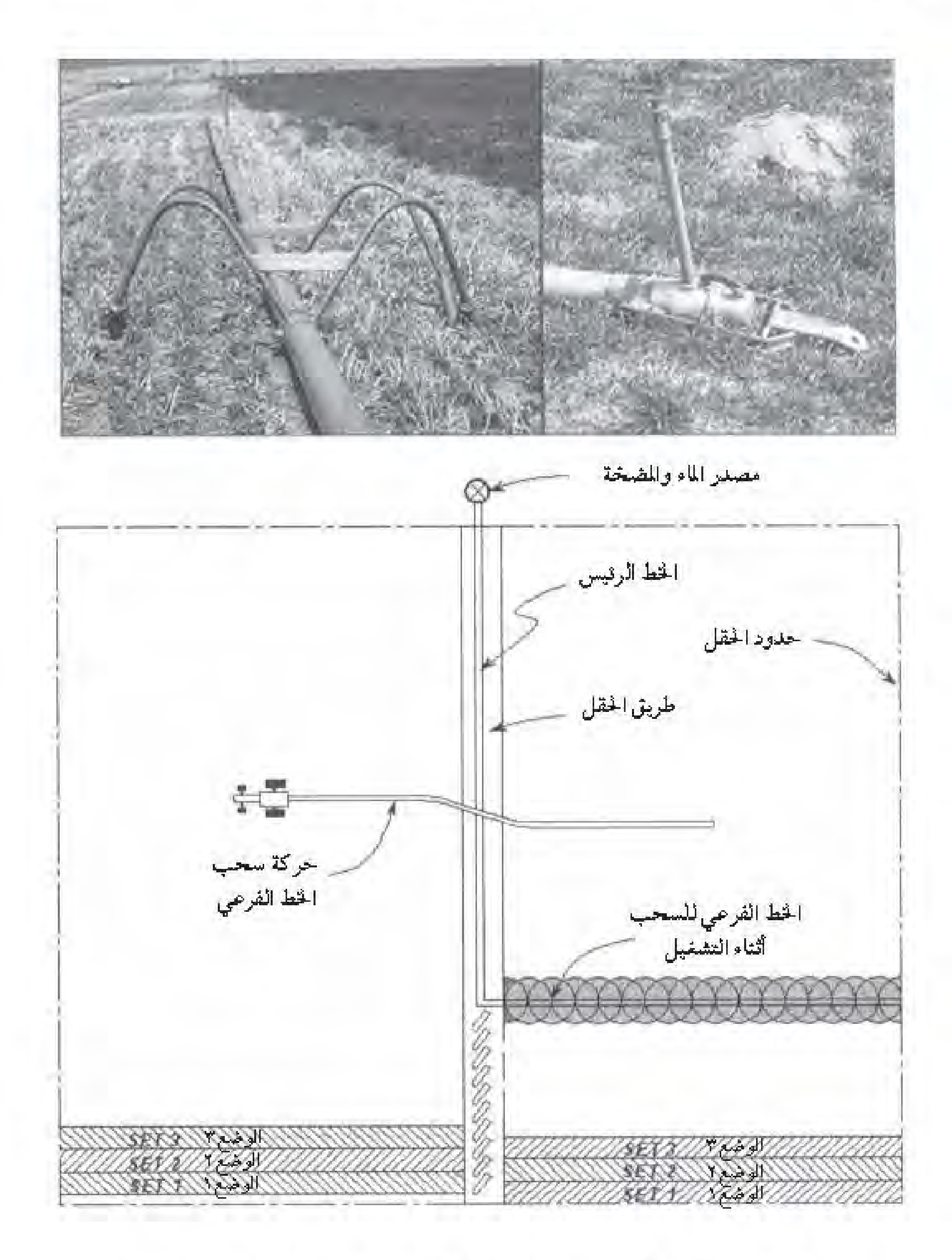
تم تطوير نظم السحب بالحبل أو بالزلق لتقليل العمالة المطلوبة لإعادة وضع الخطوط الفرعية. والتخطيط الأكثر فاعلية لنظم السحب بالحبل يكون عن طريق تقسيم الحقل في المنتصف حتى الخطوط الفرعية وبهذا يمكن سحبها بطريقة متعرجة عبر الحقل (الشكل رقم ١٦,١٨). ولخطوط الري الفرعية في نظم السحب قارنات صلبة نسبياً مزودة بعجلات للتزلج وبهذا يمكن نقل الخط عن طريق سحبه من نهاية الحقل لبدايته. وتتكون الزلاقات من ألواح معدنية مسطحة موضوعة على الجانب السفلي من الأنبوب من خلال واحد أو أكثر من الملازم. وفي أحد الأنواع، يتم وضع الزلاقة تحت المقرنة ويتم ربطه بإحكام عند كلا الطرفين. وهذا يجعل الزلاقة تأخذ الجزء الرئيس من قوة الدافع الطرفية عند المقرنة عندما يتم سحب الأنبوب. وإذا كان يتم استخدام أجزاء طويلة نسبياً من الأنابيب، فربما يكون هناك حاجة لزلاقة أخرى تحت منتصف كل جزء لتقليل انجراف التربة الناتج من الاتصال. ويتم استخدام المثبتات، أو الركائز، أو سندات العجلات لمنع أطراف الخطوط الفرعية من الميلان. وهناك حاجة لاستخدام اثنين أو ثلاث من الركائز على امتداد الخط الواحد للحفاظ على الأنبوب من التزلج على القاع، وعلى الرشاشات في وضع عمودي.

وبالنسبة لوحدات نوع العجلات، يتم تركيب زوجين من العجلات على إطار على شكل حرف U مع ربطه بإحكام بكل جزء من الأنبوب. ويتم تدوير العجلات بحيث يمكن جر الطول الكلي لأنبوب الخط الفرعي مستقيماً. والأنبوب نفسها تنتصب فقط لمسافة ٠,٣ إلى ٠,٥ م فوق الأرض. وتسمح مرونة الأنبوب ومفاصل القارنات بأن تنحني الخطوط الفرعية قليلاً أثناء نقلها إلى الموقع الجديد. وفي أحد الأنواع، مع هذا، يظل الخط الفرعي مستقيماً. ويتم تثبيت العجلات بحيث تنحرف بزاوية قدرها ٤٥° من الخط الفرعي عندما يتم جره من أحد الأطراف في أحد الاتجاهات، ثم

تنحرف ثانية بزاوية ٤٥° على الجانب الآخر عندما يتم جرها من الطرف الآخر. ومن هنا، فعن طريق الجر التبادلي من كلا الطرفين، ينحرف الطول الكلي للخط الفرعي للمسافة المطلوبة إلى الموقع التالي. ويتم ربط القارنة والعقدة بكل طرف من الخط الفرعي وبهذا يمكن سحبه في أي من الاتجاهين. ويتم استخدام غطاء طرفي لسد نهاية السريان في خط الأنابيب. ويتم تركيب سدادات صرف على امتداد الخط الفرعي لتفريغ المياه من خط الأنابيب قبل النقل. وغالباً ما يتم استخدام خرطوم مرن لربط بداية الخط الفرعي بالخط الرئيس. وإذا كان يتم استخدام أكثر من خط فرعي في حقل واحد، فيكون هناك حاجة للقيام بوضع تجهيزات لفك الخط الرئيس أثناء نقل الخط الفرعي. ويمكن استخدام قارن متداخل لهذا الغرض. وعندما يصل الخط الفرعي إلى حافة الحقل، فلابد من فك أجزائه ونقله إلى موقع البداية. وإذا كان المكان المحيط سهل الاستخدام، فمن الممكن جر الخط الفرعي حتى موقع البداية.

وإن الطريقة التقليدية لنقل الخطوط الفرعية المسحوبة بالزلق تكون عن طريق دحرجتها خلف الخط الرئيس في منحنى على شكل حرف S حتى موضع جديد على الجانب الأخر (الشكل رقم ١٦,١٨). وللموضع التالي، فإنه يتم سحب الخط الفرعي في الاتجاه الآخر خلف الخط الرئيس في منحنى على شكل حرف S في اتجاه معاكس. وبهذه الطريقة، فإن كل نقلة تحتاج إلى تقديم الخط الفرعي فقط لمسافة تساوي نصف المسافة بين المواضع المتجاورة.

وتعد نظم السحب بالزلق هي الأقل تكلفة بين النظم المنقولة ميكانيكياً. ولكن لا يتم استخدامها بشكل موسع؛ لأن عملية النقل عملية مضجرة، وتتطلب تشغيلاً حريصاً، وتؤدي إلى تلف كثير من المحاصيل. وقد تم استخدام نظم السحب بالزلق بنجاح في بعض محاصيل العلف وفي محاصيل الصفية. ويتم القيام بعمليات النقل بصورة أسهل إذا كان الخط الرئيس مدفوناً.

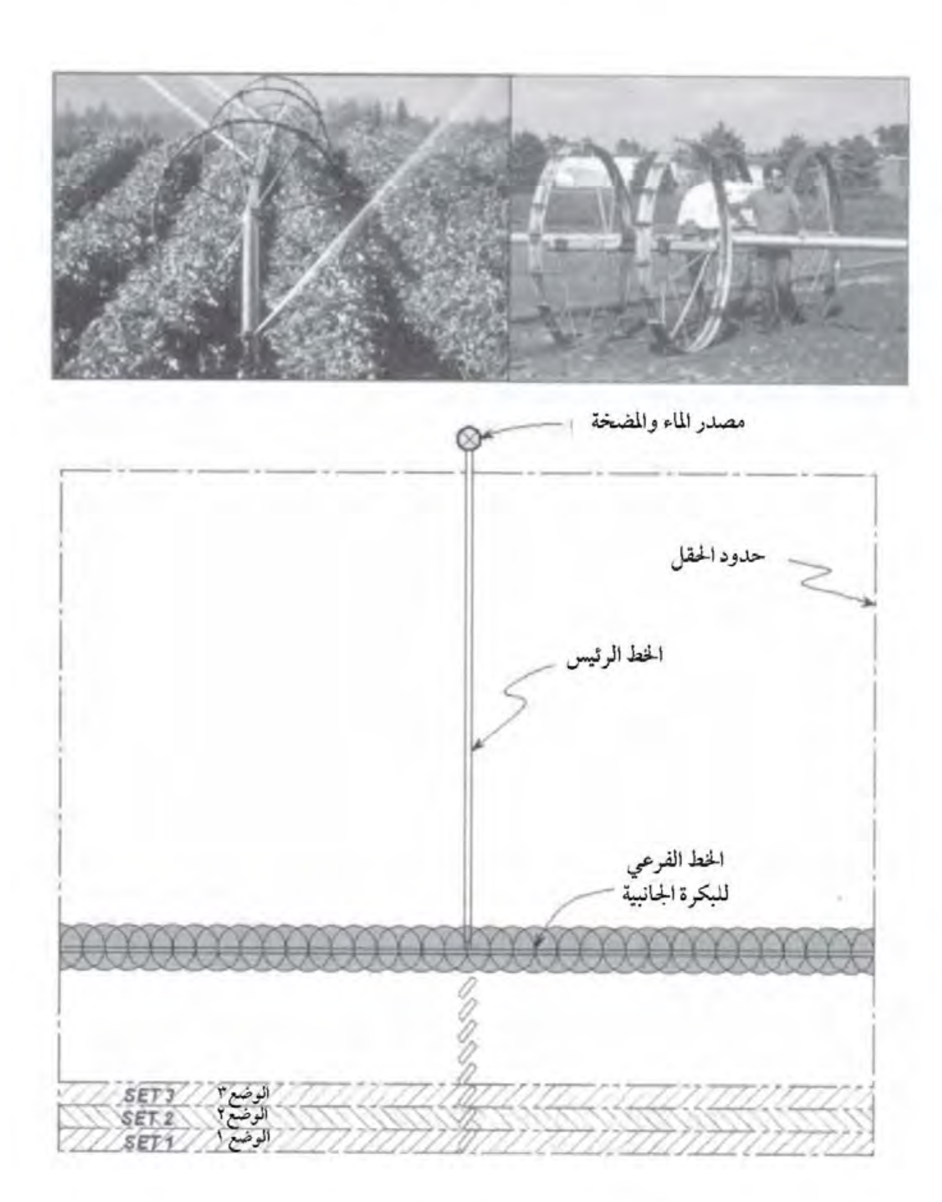


الشكل رقم (١٦,١٨). صورة ومخطط تشغيلي لنظام السحب أو السحب بالزلق.

(١٦,٦,٤) نظم البكرة الجانبية

يعد نظام البكرة الجانبية، أو الحركة بالعجلة هو النوع الثالث من نظم نقل الخطوط الفرعية دورياً. وفي هذا النظام، يتم تركيب العجلات على خطوط الرش الفرعية لتحمل خط الأنابيب فوق المحصول (الشكل رقم ١٦,١٩). وتعمل العربة الخفيفة على توفير القوة اللازمة لإدارة العجلات، ويمكن وضع العربة الخفيفة ومغذي المياه للبكرة الجانبية في أي مكان على امتداد الخط الفرعي. وكثيراً ما يتم استخدام خط الأنابيب كمحور لعزم الدوران، ولكن، يمكن استخدام عمود إدارة منفصل لإدارة الأنبوب. غالباً ما يتم استخدام عدة خطوط فرعية في الحقل الواحد. وهناك جهاز خاص له حلقة ربط ووزن يتم استخدامه لإبقاء الرشاشات في الوضع الرأسي عندما يكون دوران خط الأنابيب غير دقيق. ويمكن أن يكون الخط الرئيس فوق أو تحت الأرض. وغالباً ما يتم استخدام خراطيم مرنة لربط فرع البكرة الجانبية بالخط الرئيس.

وتسمح القارنات الصلبة بدحرجة الخط الفرعي بأكمله للأمام عن طريق بذل عزم دوران عند المركز في حين يبقى الأنبوب في خط مستقيم تقريباً، ويُشاع استخدام الأنابيب الألمونيوم التي قطرها ١٠٠ أو ١٢٥ مم. وللحصول على قوة كافية، فلابد أن يكون سمك جدار الأنبوب الألمونيوم على الأقل ١,٨ مم. إن وحدة دفع لها محرك، عادة ما تكون قرب مركز الخط الفرعي، تعمل على توفير عزم دوران لتحريك الخط الفرعي وحمل وإبقاء الأنبوب في مكانه أثناء التشغيل. وعادة، تحتوي وحدة الدفع على محرك جازولين وناقل إشارات لاسلكية مع ترس عكسي. ويتم كذلك استخدام المحركات الكهربائية أو المحركات الهيدروليكية. إن طول الخط الفرعي النمطي يبلغ ٤٠٠ م، لكن يتم القيام بعمل خطوط أطول باستخدام وحدتي دفع متباعدتين بمقدار نصف طول الخط الفرعي، ومتصلتين بعمود إدارة. وحيث إنه يتم بذل أكبر عزم دوران على الأنبوب قرب وحدة الدفع، فإنه عادة ما يتم استخدام أنبوب قطره ١٢٥ مم قرب منتصف الخط الفرعي للحصول على قوة أكبر. ويجب أن تكون الأنبوب مرناً بصورة كافية بحيث يمكن استخدام هذه النظم على تضاريس دوارة مع وجود ميول متوسطة.



الشكل رقم (١٦,١٩). الصورة والمخطط التشغيلي لنظام الري باستخدام البكرة الجانبية.

وإن المسافات بين الرشاشات الأكثر شيوعاً في الاستخدام (وطول الأنبوب) هي ١٢,٢ م. وعادة ما يتم وضع العجلات عند منتصف كل طول أنبوب، مع وضع الرشاشات في منتصف المسافة بين العجلات. وبالتالي، فإن خطاً فرعياً قياسياً طوله ٤٠٠ م يحتوي على ٣٢ أنبوباً و٣٦ عجلة لأنه يلزم وجود أربع عجلات لوحدة الدفع. وأحياناً يتم وضع عجلة إضافية لقطاع الأنبوب الأخير عند كل طرف.

ويمكن فصل القارنات الصلبة بسرعة لتقصير الخط الفرعي في حالة وجود حقول لها أشكال غريبة. وغالباً ما يتم توفير رشاشات لها ضابطات مستوى ذاتية، وبهذا سوف تصحح وضعها إذا لم يتوقف الخط الفرعي حيث سيكون الحامل لأعلى تماماً، أي، على التضاريس المتغيرة، وللمساعدة في محاذاة الخطوط الفرعية مع صمام الخط الرئيس. وقدر العمالة تقريباً بأنها خمس دقائق لكل خط فرعي في كل نقلة. وبعض وحدات دفع البكرة الجانبية يمكن التحكم بها من نهاية الخط الفرعي، مما يلغي الحاجة للسير إلى منتصف وحدة الدفع. وقد قام على الأقل مصنّع واحد بتطوير نظام بكرة جانبية آلي يمكن برمجته لتصريف ونقل نفسه وري حتى خمس مجموعات. ويتم إضافة المياه باستخدام خراطيم مرنة.

ولابد أن يكون قطر العجلة كبيراً بصورة كافية بحيث يمر الأنبوب فوق المحصول بدون التسبب في إتلافه، ولن يمنع المحصول الخط الفرعي من أن يتم دحرجته إلى الموضع التالي. وأقطار العجلة الشائعة هي ١,١٧، و١,٤٧، و١,٦٣، و١,٩٣ م.

ويتم كذلك وضع صمام صرف محمول بزنبرك عند منتصف المسافة بين العجلات تقريباً، قرب قارن الأنبوب وقرب الرشاش. وهذا الصمام يُفتح تلقائياً عندما يتوقف الضغط، وبهذا سوف يفرغ الأنبوب بسرعة وتسمح بحركة الخط الفرعي للأمام إلى المجموعة التالية بدون خسارة كثير من الوقت. (ومحاولة دحرجة خط الأنابيب عندما يكون ممتلئًا بالمياه سوف يتلف المعدات).

وإن تباعد البكرة الجانبية الأكثر شيوعاً على امتداد الخط الرئيس هو ١٨,٣ م. وتستخدم اثنان من مخططات التشغيل الشائعة. في أحد المخططات، يتم توصيل الخط الفرعي لكل صمام مخرج على امتداد الخط الرئيس، وعندما يصل الخط الفرعي إلى وجهته ويكمل مجموعته الأخيرة، يتم دحرجته ثانية إلى نقطة البداية. وفي المخطط الآخر، يتم توصيل الخط الفرعي بكل صمام مخرج له رقم مزدوج على الخط الرئيس في حين يتم نقل الخط الفرعي عبر الحقل، ثم يتم توصيله بالصمامات التي لها رقم فردي في حين يتم نقل الخط الفرعي للخلف حتى موضع البداية. وبالنسبة للحالة الأخيرة فإن الفواصل الفرعية بين عمليات الري تكون أطول عند طرفي الحقل أكثر من المنتصف.

وكما هو الحال مع الخطوط الفرعية التي تنقل يدوياً، يكون هناك ميل للفتح التام لصمام الصنبور لملء الخط بأكبر سرعة ممكنة، مما يتسبب في حدوث طرق مائي عند الطرف الأقصى من الخط. وبالتالي، يوصى باستخدام سدادة دفق عند الطرف المغلق. ويوصى أيضاً باستخدام الإزاحات (التعويضات)، وبشكل خاص حالة ١٢,٢ م مع مسافة بينية قدرها ١٨,٣ م. وتعد الخطوط الفرعية مع البكرة الجانبية عرضة بدرجة عالية لتلف الرياح عندما تكون فارغة، ولابد من تخزينها على الأرض عندما لا تكون في وضع الاستخدام. إن الأقواس الخاصة، التي تسمح للخط الفرعي أن يتدحرج في اتجاه واحد فقط، تساعد على حماية الخطوط الفرعية خلال موسم الري.

وعادة ما يكون الخط الفرعي الذي له ٣٢ رشاشاً مصمماً بأنبوب قطره ١٠٠مم، حتى عندما يتم إضافة المياه فيه من طرف واحد وتكون فواقد الاحتكاك من ٥٥ إلى ٦٠ كيلوبسكال. ولكن، إذا كان يتم السماح بدخول المياه عند منتصف الخط الفرعي، فإن فواقد الاحتكاك تقل بمقدار ١/٥. وسوف يكون للأنبوب التي قطرها ١٢٥مم فقط حوالي ١/٣ فواقد الاحتكاك التي للأنبوب التي قطرها ١٠٠ مم عندما يتم السماح بخروج المياه من طرف واحد. وسوف تعتمد أفضل الطرق على السعر المستقبلي وتوفر الطاقة. وعادة ما يُفضل استخدام خطوط فرعية طرفية التغذية؛ لأنه

يمكن الحفاظ على محرك الأقراص الذي يحدث فيه الدفع من خلال الطريق على امتداد الخط الرئيس لأجل الوصول بيسر للصمامات.

(١٦,٦,٥) الحركة الجانبية للخطوط على عربة مقطورة

يتم تثبيت الخطوط الفرعية للحركة الجانبية للخطوط على عربة مقطورة على إطارات على شكل حرف A مثبتة على عجلات، ولا تعمل الأنبوب كمحور للعجلات ويمكن أن تكون في وضع أعلى فوق سطح الأرض. وكل عربة على شكل حرف A يتم دفعها من خلال عمود الدفع الذي يمتد على طول خط الأنابيب. ويمكن أن يتم تدوير عمود الدفع من منتصف الخط أو من أحد الأطراف. وأحد التصميمات تستخدم خطاً فرعياً من نوع الحركة المستمرة (محور مركزي) يعمل بنمط تحريك الوضع الثابت. ويتم تدوير العجلات باستخدام المحركات الكهربية أو الهيدروليكية التي تتولد من مولد موجود على السطح أو من مضخة هيدروليكية.

ويمكن أن تحمل خطوط العربة المقطورة صغيرة القطر عدة رشاشات. وعادةً، يتم استخدام حوامل رشاشات قصيرة؛ لأنها أسهل في الإبقاء في وضع عمودي أكثر من الحوامل الطويلة. ويتم استخدام الركائز (أذرع امتداد) عند آخر رشاش عند كل خط لإبقاء الحوامل في الوضع العمودي، ولكنها قد تؤدي إلى تلف بعض المحاصيل.

ويُسمى هذا النظام أحياناً "بالوضع الثابت القابل للنقل". وهو يعمل إلى حد بعيد على تقليل عدد التنقلات اللازمة لتغطية الحقل، وبالتالي يوفر العمالة. ويمكن استخدام المسافة بين الرشاشات وأقطار الفوهات التي تعطي معدلات إضافة منخفضة بانتظامية مقبولة. وفي وجود معدلات الإضافة المنخفضة، يمكن أن تكون أزمنة الأوضاع التي تبلغ ٢٤ساعة عملية لبعض أنواع التربة والمحاصيل الزراعية، مما يتيح وضع جدولة للعمل في وقت النهار العادي لمن يقوم بالري. وعندما يصل نظام خط العربة المقطورة إلى نهاية الحقل، يتم فك تقارن الخط، ونقل الخط الفرعي إلى الأطراف العكسية من الخطوط المنتشرة، والتي يتم عندها فك تقارنها ليتم الري في طريق العودة عبر الحقل. ويمكن أن يتم جعل العجلات في معظم نظم الحركة

الجانبية بزاوية قدرها ٩٠°، مما يسمح بأن يتم سحب الخط الفرعي بشكل مستقيم إلى حقل آخر.

(١٦,٧) النظم المحورية

في عام ١٩٤٨ اخترع فرانك زاياك Frank Zybach نظام الري ذاتي الدفع، واستخدم في اختراعه الأبراج ذات العجلات لحمل خط الأنابيب حول نقطة محورية في الحقل. وعلى الرغم من أن اختراعه قد تعرض لتغييرات عديدة، إلا أن المفهوم الأساسي مازال مستخدماً. ويتم دعم جسر الأنابيب ببرج ونظام جمالون (الشكل رقم ١٦,٢٠). واليوم يتم دفع معظم النظم عن طريق المحركات المدارة كهربائياً أو هيدروليكياً والتي يتم تثبيتها على كل برج. ويقوم نظام من المفاتيح على كل برج بإمداد الطاقة للمحرك عندما يكون البرج بحاجة إلى التحرك. ويتم التحكم في عمق الماء المضاف عن طريق اختيار سرعة البرج الأخير أو البرج الطرفي. وفي كثير من النظم الكهربية يتم استخدام مؤقت للدقيقة الواحدة للتحكم في السرعة. فإذا تم وضع المؤقت عند قيمة ١٠٠٪، فإن المحرك الموضوع عند البرج الطرفي يتم توصيل الطاقة له عبر دقيقة كاملة مما يتسبب في تحريك البرج الطرفي بسرعة ثابتة تساوي أقصى سرعة للنظام. وإذا تم وضع المؤقت عند قيمة قدرها ٥٠٪، فإنه يتم إمداد المحرك بالطاقة لمدة ٣٠ ثانية فقط، وبالتالي، فإن البرج الطرفي يكون ثابتاً لمدة ٣٠ ثانية ثم يتحرك لمدة ٣٠ ثانية عند أقصى سرعة بالنسبة للبرج الطرفي. وتوفر بعض النظم الهيدروليكية والكهربائية حركة مستمرة للبرج الطرفي عند سرعات مختلفة لإضافة العمق المطلوب من المياه المضافة.

ويتم التحكم في الأبراج الداخلية عن طريق مفاتيح أو صمامات مثبتة على البرج. وأحد المفاتيح أو الصمامات يتم وضعه لإمداد الطاقة للمحرك إذا تحرك برج خلف السريان لمسافة بعيدة بدرجة تكفي لتجاوز زاوية البداية. ويعمل المفتاح أو الصمام على إمداد الطاقة للمحرك ويتسبب في أن يتحرك البرج بسرعة ثابتة. ويتحرك

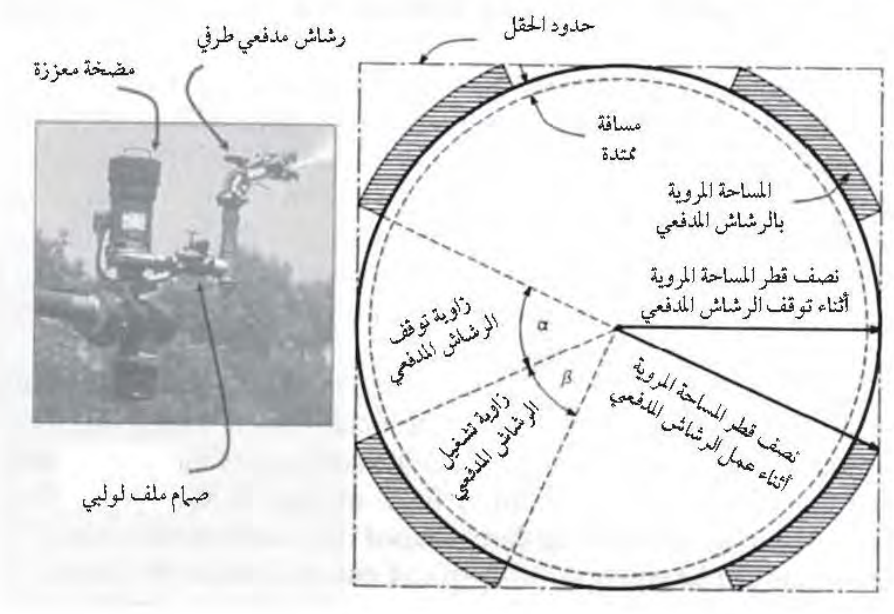
البرج حتى تتجاوز الزاوية بين الأنابيب المتجاورة زاوية التوقف. وفي حالة النظم مستمرة الحركة فإن الأبراج الداخلية تتحرك باستمرار عند سرعات مختلفة للحفاظ على المحاذاة. ويمكن تصميم الأبراج الداخلية لتتحرك بسرعة أكبر من السرعة التي يتحرك بها البرج الطرفي بما يسمح لهم باللحاق بالبرج الطرفي للحفاظ على المحاذاة.

ومتاح في الوقت الحاضر أجهزة تحكم لتغيير السرعة و/أو اتجاه دوران خط المحور بدوران النظام في الحقل. وهذا يعد شيئاً مفيداً إذا كان يتم زراعة محاصيل مختلفة تحت محور واحد أو إذا كانت هناك عوائق موجودة في الحقل. ويتم كذلك القيام بعمل نظم محورية صغيرة يمكن نقلها داخل الحقل، أو من حقل لآخر. وهذا يسمح بجعل عملية الري شبه آلية للحقول غير منتظمة الشكل وقطع الأراضي الصغيرة.

ويمكن تزويد النظم المحورية بمدفع طرفي لزيادة الجزء من الحقل المروي (الشكل رقم ١٦,٢٠)، والمدفع الطرفي هو رشاش ضخم يشبه الرشاش المستخدم على عربة النقل في النظام المدفعي، وهو يركب عند نهاية الخط المحوري. ويقوم المدفع بإلقاء المياه على امتداد مسافة طويلة وبناء على هذا تزداد مساحة الأرض المروية بالنسبة لطول ما من الخط الفرعي. ويتم إلحاق صمام بالمدفع الطرفي وبهذا يعمل المدفع الطرفي فقط في أركان الحقل. وعندما يصل الخط المحوري إلى زاوية دوران سابقة الإعداد، ينفتح الصمام ويتم إمداد المياه إلى المدفع الطرفي. وفي بعض الحالات يتم إلحاق مضخة معززة إلى الصمام لتزيد ضغط المدفع الطرفي.

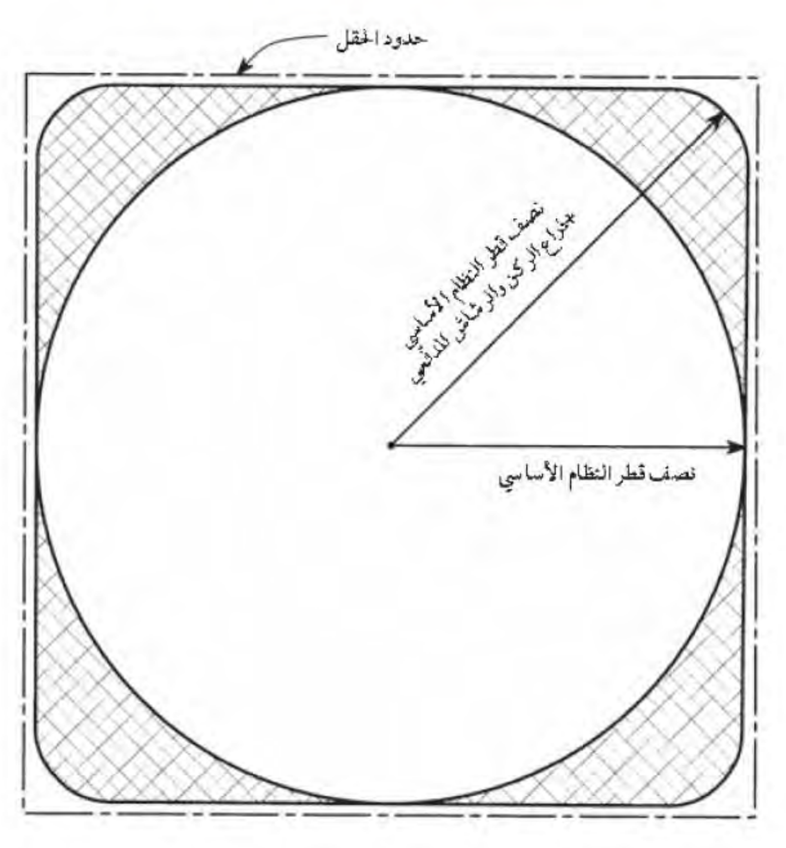
ويمكن استخدام نظام ري أركان قادر على ري جزء أكبر من حقل مربع. ويتم إلحاق جسر خاص لنهاية النظام المحوري التقليدي (الشكل رقم ١٦,٢١). ويدور جسر الركن حول طرف الخط المحوري. ويتم تثبيت جسر الركن خلف الخط الفرعي الرئيس عندما يكون حد الحقل قريباً من نهاية الخط المحوري. وتبدأ الرشاشات الموجودة على جسر الركن في الري عندما يدور المحور بزاوية للمكان الذي لا تصل فيه مجموعة الرشاشات على الخط الفرعي الأساسي إلى حدود الحقل.





الشكل رقم (١٦,٢٠). مكونات وتخطيط حقل لنظم الري المحورية النمطية.





الشكل رقم (١٦,٢١). صورة ومخطط تشغيلي للمحور المزود بنظام ري ركني.

ويتم إلحاق الرشاشات الموجودة على جسر الركن إلى سلسلة من الصمامات. وبدوران الخط المحوري تجاه ركن الحقل، فإن خط الركن يمتد وتنفتح الصمامات بامتداد خط الركن. ويمكن أن يتم تركيب مدفع طرفي إلى خط الركن لإلقاء المياه إلى مسافة أبعد في الركن. وتستخدم كثير من نظم الأركان كابلاً تحت الأرض ولاقطاً هوائياً على برج الركن ليتبع العمق المرغوب. ويمكن ضبط وضع الكابل بحيث يتم ري الحقول غير منتظمة الشكل وللتحرك حول عوائق دائمة.

للنظم المحورية كثير من المزايا والتي من بينها :

• التشغيل الآلي : يمكن تشغيل النظم المحورية بأقل قدر من العمالة في الغالب للقيام بعمليات دوران بلا توقف. ويمكن التحكم بها كذلك عن بعد من المركبات الزراعية للحقل أو من أجهزة الحاسب الآلي.

• المقدرة على إضافة أعماق ري صغيرة : حيث إن النظم تكون آلية، فإنها يمكن أن تضيف كميات ري صغيرة لتتوافق مع احتياجات المحصول بدون نزح الأسمدة.

• انتظامية عالية جداً : حيث إن الخط الفرعي يتحرك ببطء ولأن هناك كماً كبيراً من التداخل في إضافة المياه من الرشاشات المتتابعة على الخط الفرعي، فإن النظم المحورية تضيف المياه بانتظامية شديدة.

• الري الكيميائي : يمكن إدارة المحاور كي تقوم على نحو سريع ومنتظم بري الحقل باستخدام كميات صغيرة من المياه، والتي توفر الفرصة لإضافة الأسمدة، ومبيدات الحشائش الضارة، ومبيدات الحشرات.

• تتطلب إعداداً سنوياً بسيطاً : بمجرد أن يتم إنشاء النظام، فإنه يمكن تشغيل المحور في أي وقت يكون هناك حاجة عنده للمياه. وهذا أمر مميز لإنبات المحاصيل أو لإعداد أماكن وضع البذور.

بعض عيوب النظم المحورية هي :

• التكلفة : بناءً على المرجع، فإن تكلفة النظام المحوري تكون عالية بشكل معقول. فالتكلفة لكل وحدة من الأرض في حالة محور مركزي نمطي تبلغ تقريباً من ٢٠

إلى ٣٠٪ مما هي في حالة الوضع الثابت ونظم الري الدقيق. ومع ذلك، تتجاوز التكلفة تلك التكلفة المخصصة للنظم التي تتطلب مزيداً من العمالة مثل نظم النقل اليدوي أو السحب. وتقل التكلفة لكل وحدة مساحة بزيادة طول الخط الفرعي، ولكن كثير من العوامل تعمل على تقييد أقصى طول للخط الفرعي.

• معدلات الإضافة العالية: إن معدل إضافة المياه عند طرف المخرج للخط الفرعي يكون عالياً جداً، مما يمكن أن يتسبب في حدوث الجريان السطحي.

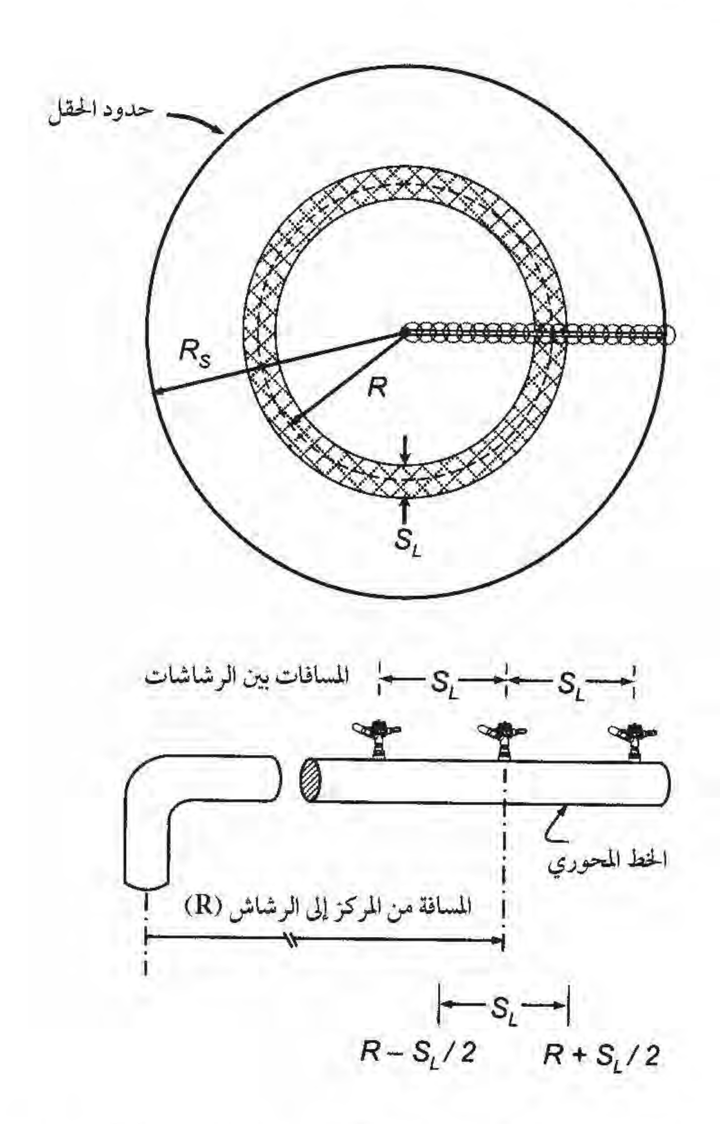
• النمط الدائري: تقوم النظم المحورية بري ٨٠٪ من حقل مربع. ويمكن أن تكون خسارة الإنتاج في الأركان قيمة معتبرة عندما تكون الأرض باهظة الثمن أو أنه يتم إنتاج محاصيل عالية القيمة.

إن نظام الري المدفوع ذاتياً كما أسماه مخترعه فرانك زايباك Frank Zybach (1948) شكّل تحولاً في الري. وكثير من الأراضي الآن يتم ريها بكفاءة والتي كانت توصف في وقت ما بأنها غير مناسبة للزراعة المروية. إن نظم الري المحوري كما وضعتها صناعة الري قد أدت إلى تقليل متطلبات العمالة، وعملت على تحسين كفاءة إضافة المياه وأسهمت في الجدوى الاقتصادية لكثير من المناطق. وبصرف النظر عن كل هذا كان هناك حالات فشل عند استخدام النظم المحورية. فقد نشأت المشاكل نتيجة سوء التصميم والإدارة غير السليمة. وفي بعض المواقع أدى الإفراط في التنمية إلى السحب المفرط والجرف الزائد لمصادر المياه المكشوفة مما تسبب في انخفاض إمدادات المياه الجوفية. وبدون الإدارة السليمة من الممكن حدوث نزح للكيماويات الزراعية وخاصة عند وجود محاصيل ضحلة الجذور في التربة الرملية. وتقوم فصول أخرى بمناقشة تخطيط وتشغيل نظم الري لتتوافق مع القيود البيئية، والاقتصادية، وقيود الموارد. والتركيز في هذا الجزء ينصب على تصميم نظم الري المحورية ليتم إضافة مياه الري بكفاءة وانتظامية.

(١٦,٧,١) تصرف الرشاش

لابد من حساب التصرف من كل رشاش على النظام المحوري ليتم إضافة المياه بشكل منتظم. والمساحة الواقعة في المنتصف بين رشاشات خلف السريان وأمام

السريان المتجاورة تعمل على تحديد المساحة الممثلة للرشاش على المحور (الشكل رقم ١٦,٢٢).



الشكل رقم (١٦,٢٢). رسم بياني للمساحة الممثلة لتحديد التصرف من الرشاشات على الخط الفرعي للنظام المحوري.

وهذه المساحة تُعطى بالعلاقة :

$$A_R = 2\pi R S_L \quad (١٦,١٩)$$

حيث إن :

A_R = المساحة التمثيلية للرشاش عند مسافة قدرها R من نقطة المحور

S_L = المسافة الموضعية بين الرشاشات على الفرع المحوري، م

ومن الشائع أن تختلف المسافات بين الرشاشات على امتداد طول الخط الفرعي المحوري. وعادة تبلغ المسافات قرب منتصف المحور ضعف المسافات قرب الطرف الخارج من المحور. ومتوسط التصرف لكل وحدة مساحة للمحور هو نسبة التدفق للنظام المحوري مقسوماً على المساحة الدائرية المروية بالنظام الأساسي (أي، حيث يكون المدفع الطرفي أو حيث لا يكون نظام الركن عاملاً). ودمج هذه العلاقات يعمل على توفير التصرف المطلوب للرشاش الموضوع عند المسافة القطرية R من نقطة المحور :

$$q_R = \frac{2 Q_S R S_L}{R_S^2} \quad (١٦,٢٠)$$

حيث إن q_R التصرف المطلوب للرشاش الموضوع على مسافة R من نقطة المحور و Q_S التصرف الكلي للنظام المحوري. ويمكن تعديل المعادلة لتشمل سعة النظام الكلية كما يلي :

$$q_R = 2 \times 10^{-4} \pi \; C_g \, R \, S_L \quad (١٦,٢١)$$

وللقيام بتصميم مجموعة من الرشاشات فلابد من تحديد أقطار الفوهات لكل رشاش. وهذا يتطلب وجود بيانات حول توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي. وفي

حالة الأراضي المستوية فمن الممكن استخدام العلاقة التي قام بوضعها تشو وموي Chu and Moe (1972) للتوزيع :

$$P_R = P_S + P_L \left[1 - \frac{15}{8} \left\{ \frac{R}{R_S} - \frac{2}{3}\left(\frac{R}{R_S}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{R}{R_S}\right)^5 \right\} \right] \qquad (١٦,٢٢)$$

حيث إن :

P_R = الضغط في الخط الفرعي عند نقطة R .

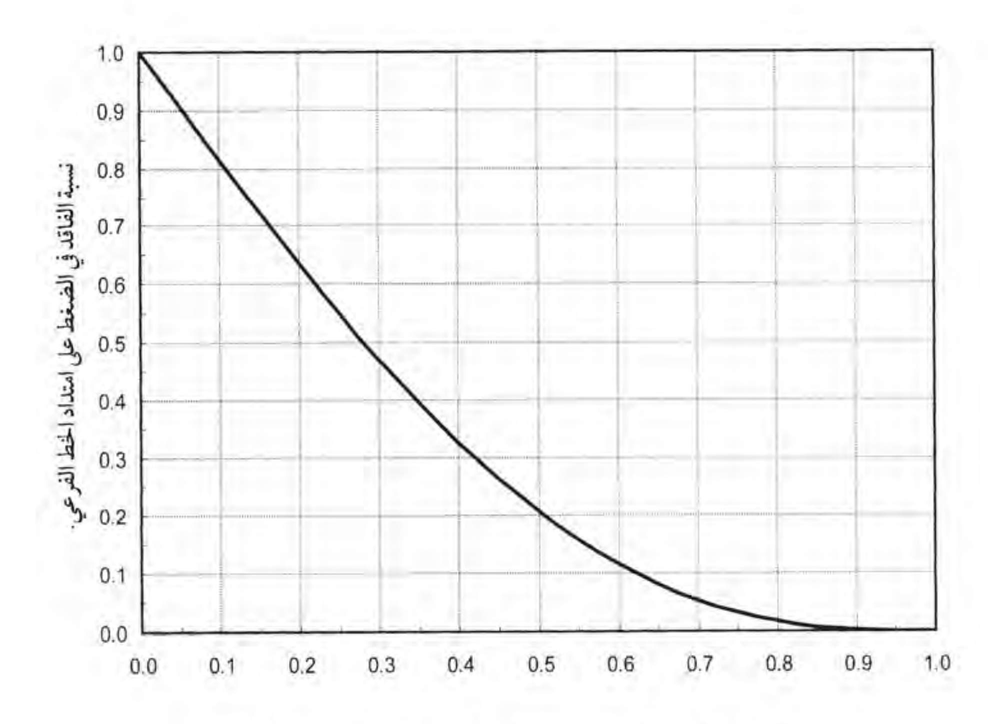
P_S = الضغط عند النهاية القصوى من الخط المحوري.

P_L = الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى من الخط المحوري.

وقام كيللر وبليسنر Keller and Bleisner (1990) وسكالوبي وألن Scaloppi and Allen (1993) بعرض طرق لحساب توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي المحوري. وتعطي نتائجهم نفس توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي مثل نتائج تشو وموي Chu and Moe (1972). والتوزيع النسبي للفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي موضح في الشكل رقم (١٦,٢٣).

إن الاختلاف بين الطرق التي استخدمها تشو وموي Chu and Moe (1972) وسكالوبي وألن Scaloppi and Allen (1993) هي في الإجراءات المستخدمة لحساب فاقد الاحتكاك من المدخل إلى النهاية القصوى للخط الفرعي (أي، P_L). وحيث استخدم تشو وموي معادلة هيزن-ويليام، واستخدم سكالوبي وألن معادلة دارسي-ويسباك. وكذلك أخذ سكالوبي وألن في اعتبارهما الاختلاف في ضاغط السرعة في الخط الفرعي في حين اعتبر تشو وموي أنها مهملة. وفي الفصل الخامس عشر ينصح باستخدام طريقة دارسي-ويسباك للحسابات الهيدروليكية. ونتفق مع هذه التوصية للإضافات باستخدام جداول العمل في الحاسب الآلي و/أو برامج حساب الفاقد بالاحتكاك. وتطبيق طريقة دارسي-ويسباك لخطوط الرش الفرعية تؤدي إلى تغيير

عوامل الاحتكاك على امتداد خط الأنابيب. وهذا أمر من الصعب تقديمه في هذا الفصل، وهكذا فإن هيدروليكا خطوط أنابيب النظام المحوري تتضح باستخدام معادلة هيزن-ويليام في هذا الفصل.



الشكل رقم (١٦,٢٣). توزيع الفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي.

يتم حساب الفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي للنظام المحوري بشكل تقليدي أثناء التصنيع باستخدام معادلة هيزن-ويليام (انظر الفصل الخامس عشر)، ويبين الجدول رقم (١٦,١٠) قيم C النمطية لمواد الخط الفرعي لنظام المحوري. وحيث إن التصرف من الرشاش يختلف على امتداد الخط الفرعي بالنسبة للنظام المحوري فإن قيمة F للخطوط الفرعية في النظم المحورية تختلف عنها لخطوط الرش الأخرى. وتوضح نتائج أبحاث تشو وموي Chu and Moe (1972) أن قيمة F هي ٠,٥٤ بالنسبة للنظم المحورية

التي لا تستخدم المدافع الطرفية. ويوضح بير وآخرون Pair *et al.* (1983) أن قيمة F تبلغ ٠,٥٦ عند تشغيل المدفع الطرفي. وتم مقارنة هذه القيم مع الخطوات التي تقوم بحساب الفاقد في الضغط بين كل رشاش وآخر على امتداد الخط الفرعي المحوري كالتي تم استخدامها من قبل كينكيد وهيرمان Kincaid and Heermann (1970). وتوضح المقارنات أن طريقة تشو وموي Chu and Moe (1972) طريقة دقيقة بدرجة كافية.

وبناءً على هذه الخطوات فإن توزيع الضغط على امتداد الخطوط الفرعية المحورية يمكن حسابه باستخدام الجدول رقم (١٦,١٠)، وهذه النتائج تعطي نسبة الفاقد على امتداد الخطوط الفرعية التي يكون لها أنبوب ذو قطر واحد. ويوضح الشكل رقم (١٦,٢٣) أن ما يزيد على نصف الفاقد الكلي على امتداد الخط الفرعي يحدث داخل الثلث الأول من الخط الفرعي وأن ٨٠٪ من الفاقد في الضغط في الخط الفرعي يحدث في النصف الأول من خط الأنابيب. وقد أوضحت التجربة أن ضغوط التشغيل وبالتالي تكاليف التشغيل يمكن تقليلها باستخدام أنابيب ذات قطر أكبر في الجزء الأول من الخط الفرعي.

ويمكن حساب نسبة الفاقد في الخطوط الفرعية المحتوية على قطرين للأنبوب في حالة $R \geq R_c$ كما يلي:

$$P_R = P_S + P_{Ls}\left[1 - 1.875\left\{\frac{R}{R_S} - \frac{2}{3}\left(\frac{R}{R_S}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{R}{R_S}\right)^5\right\}\right] \qquad (١٦,٢٣)$$

وفي حالة: $R \leq R_c$:

$$P_C = P_R + P_{Ls}\left[1 - 1.875\left\{\frac{R_C}{R_S} - \frac{2}{3}\left(\frac{R_C}{R_S}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{R_C}{R_S}\right)^5\right\}\right]$$

$$P_R = P_C + P_{LL}\left[1.875\left\{\frac{R_C}{R_S} - \frac{R}{R_S} - \frac{2}{3}\left(\frac{R_c^3}{R_s^3} - \frac{R^3}{R_s^3}\right) + \frac{1}{5}\left(\frac{R_c^5}{R_s^5} - \frac{R^5}{R_s^5}\right)\right\}\right]$$

حيث إن :

R_C = الموقع على امتداد الخط الفرعي حيث يتغير قطر الأنبوب.

P_{Ls} = الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى في حالة الأنبوب صغير القطر.

P_{LL} = الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى في حالة الأنبوب كبير القطر.

وأحد الأمثلة على استخدام هذه الخطوات متضمن في المثال الموضح في الشكل رقم (١٦,٢٤). ويوضح المثال أن الاستثمار في الأنبوب الأكبر للجزء البالغ ٤٠٪ من الخط الفرعي سوف يعمل على تقليل ضغط المدخل بما يساوي ٢٠٪ تقريباً في حين أن استخدام الأنبوب الأكبر على امتداد الخط الفرعي بأكمله سوف يقلل الضغط فقط بما يساوي ٢٩٪. ومن المطلوب القيام بتحليل للتكاليف لتحديد أي البدائل تكون الأمثل.

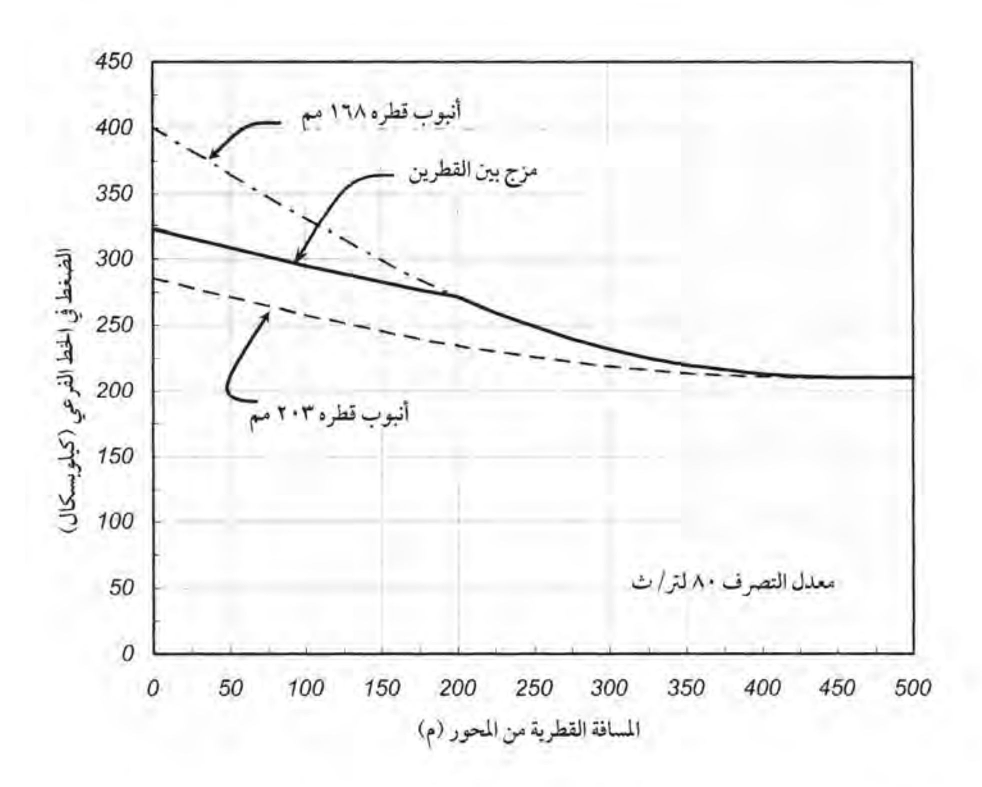
إن الحسابات المذكورة سابقاً لتوزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي قد أهملت تأثير تغيرات الارتفاع. وإذا كان هناك ميل منتظم على امتداد الخط الفرعي فإنه يمكن تعديل الضغط بما يتناسب معه ويمكن اختيار أقطار الفوهات المناسبة لتوفير التصرف المرغوب. ولكن، يختلف أداء المحور عبر الحقل المائل بمجرد تركيب مجموعة محددة من الفوهات. وغالباً ما يكون التصميم على امتداد ميل مسطح أمراً معقولاً مقارنةً بالحقول المائلة. ولكثير من الحقول المروية باستخدام النظام المحوري فإن طبيعة الأرض تكون إما منتظمة أو مسطحة. وحيث إن تصميم مجموعات الرشاشات يتم القيام بها عادةً باستخدام برامج الحاسب التي تبدأ عند طرف الحقل من الخط الفرعي وتحدد الفاقد في الضغط وأقطار الفوهات لكل مخرج على امتداد الخط الفرعي، ويمكن استخدام الارتفاع عند كل موقع في الحسابات. ومن الشائع استخدام منظمات الضغط إذا أدت اختلافات الارتفاع في الحقل إلى اختلافات في الضغط والتي ستقلل انتظامية الإضافة لأقل من المستوى المقبول.

الجدول رقم (١٠,١٦). نسبة الفاقد (م/١٠٠ م) في أنبوب من الصلب المجلفن في حالة النظام المحوري والحركة المستقيمة. وتفترض النتائج أن قيمة C هي ١٤٠ في حالة معادلة هيزن-ويليام والأنبوب ذي القطر الواحد. ولحساب الفواقد في المحوري قم بضرب القيم في طول الخط الفرعي في معامل F المناسب.

تصرف النظام	القطر الخارجي للأنبوب (مم)									
(لتر/ث)	١٠٢	١١٤	١٢٧	١٤١	١٥٢	١٦٨	١٧٨	٢٠٣	٢١٩	٢٥٤
٥	٠,٥٧									
١٠	٢,٠٦	١,١٢								
١٥	٤,٣٦	٢,٣٨	١,٣٩							
٢٠	٧,٤٢	٤,٠٦	٢,٣٧	١,٣٨						
٢٥	١١,٢	٦,١٣	٣,٥٨	٢,٠٩	١,٤٢					
٣٠	١٥,٧	٨,٦٠	٥,٠٢	٢,٩٢	١,٩٩	١,٢١				
٣٥	٢٠,٩	١١,٤	٦,٦٨	٣,٨٩	٢,٦٥	١,٦١	١,٢٢			
٤٠	٢٦,٨	١٤,٦	٨,٥٦	٤,٩٨	٣,٤٠	٢,٠٦	١,٥٦			
٤٥	٣٣,٣	١٨,٢	١٠,٦	٦,١٩	٤,٢٢	٢,٥٦	١,٩٤	١,٠٠		
٥٠		٢٢,١	١٢,٩	٧,٥٣	٥,١٣	٣,١٢	٢,٣٦	١,٢١		
٦٠		٣١,٠	١٨,١	١٠,٦	٧,٢٠	٤,٣٧	٣,٣١	١,٧١	١,١٦	
٧٠			٢٤,١	١٤,٠	٩,٥٧	٥,٨١	٤,٤١	٢,٢٦	١,٥٥	
٨٠			٣٠,٩	١٨,٠	١٢,٣	٧,٤٤	٥,٦٤	٢,٨٩	١,٩٨	
٩٠				٢٢,٤	١٥,٣	٩,٢٥	٧,٠٢	٣,٥٩	٢,٤٧	١,١٨
١٠٠				٢٧,٢	١٨,٥	١١,٣	٨,٥٣	٤,٣٧	٣,٠٠	١,٤٣
١٢٠				٣٨,١	٢٦,٠	١٥,٨	١٢,٠	٦,١٢	٤,٢٠	٢,٠١
١٤٠					٣٤,٦	٢١,٠	١٥,٩	٨,١٤	٥,٥٩	٢,٦٨
١٦٠						٢٦,٩	٢٠,٤	١٠,٤	٧,١٦	٣,٤٣
١٨٠						٣٣,٤	٢٥,٣	١٣,٠	٨,٩١	٤,٢٦
٢٠٠							٣٠,٨	١٥,٨	١٠,٨	٥,١٨
٢٢٠							٣٦,٧	١٨,٨	١٢,٩	٦,١٨
٢٤٠								٢٢,١	١٥,٢	٧,٢٦
٢٦٠								٢٥,٦	١٧,٦	٨,٤٢

المعامل F للنظام المحوري: بدون رشاش مدفعي طرفي: ٠,٥٤ مع وجود رشاش مدفعي طرفي: ٠,٥٦

التعديل مع الأنابيب التي خشونتها مختلفة						
قيمة C :	١٠٠	١١٠	١٢٠	١٣٠	١٤٠	١٥٠
المتعدد:	١,٨٦	١,٥٦	١,٣٣	١,١٥	١,٠٠	٠,٨٨



الشكل رقم (١٦,٢٤). توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي للنظام المحوري مع وجود خطوط فرعية أقطارها تساوي ١٦٨ و٢٠٣ مم، وفي حالة خط فرعي مزيج من القطرين بـــه طول ٢٠٠ م بقطر ٢٠٣ مم وطول ٣٠٠ م بقطر ١٦٨ مم.

وتعد خطوات عمل تشو وموي (1972) Chu and Moe مفيدة في فهم هيدروليكا الخط الفرعي والتحليل البسيط للمحاور المركزية. ومع ذلك، عادة يتم تصميم نظم الري المحورية بشكل نمطي باستخدام برامج الحاسب الآلي التي تبدأ عند النهاية القصوى من المحور وتعمل بشكل متتابع بحساب الضغط المتاح عند مخرج كل رشاش أمام السريان (Heerman and Stahl, 2006). وفي هذه البرامج فإن فاقد الاحتكاك في الجزء من الخط الفرعي بين المخارج يتم حسابه باستخدام إما معادلة

هيزن-ويليامز أو معادلة دارسي-وايزباك بالنسبة للأنبوب بدون المخارج. إن فواقد الضغط من خلال التجهيزات المستخدمة لتوصيل الرشاش إلى الخط الفرعي يتم حسابها كذلك. وقد أصبح هذا أكثر أهمية، حيث إن ضغط التشغيل للرشاشات يستمر في النقصان لتوفير الطاقة وعند تركيب الرشاش على مسافة أبعد من المحور بعد استخدام منشآت السقوط. إن استخدام معادلة تصرف الرشاش بالنسبة لتصرف الرشاش المطلوب يعطي التدفق المطلوب عند كل مخرج. وبهذه المعلومة والضغط المتاح عند قاعدة الرشاش، يمكن حساب أفضل قطر فوهة ملائم. ورغم أن هناك عدداً لانهائياً من أقطار الفوهات متاح، إلا أنه ليس من الممكن أن يتم التوافق التام مع التصرف المطلوب. وكثير من المصممين يؤكدون على الخطأ التراكمي بين التدفق الكلي الفعلي في النظام وبين التدفق المطلوب. وعند كل مخرج يتم اختيار الفوهة التي تتوافق بشكل وثيق مع التصرف المرغوب من المخرج والتي تعمل على تقليل خطأ التدفق التراكمي. إن هذه الأنواع من البرامج تعمل على توفير مواصفات مفصلة جداً لخصائص النظام وتسمح باعتبار طبيعة وتضاريس الأرض.

(١٦,٧,٢) انتظامية الإضافة

كما في الأنواع الأخرى من نظم الري بالرش يمكن حساب انتظامية الإضافة تحت النظام المحوري من خلال النظر في العمق المتداخل للإضافة من الرشاشات الفردية. وهذا التحليل يعمل على الإرشاد إلى أفضل مسافة ملائمة للرشاشات على امتداد الخط الفرعي. وتعد الخطوات أكثر تعقيداً في حالة المحاور لأن الرشاشات الفردية ليست ثابتة وإنما تتنقل في مسارات دائرية حول الحقل. وقد قام بيتنجر ولونجنباوخ Bittinger and Longenbaugh (1962) بوضع إطار العمل المستخدم لتحليل توزيع المياه من نظم الري بالرش المتنقلة. وقد افترضا وجود حالة الرشاشات التي تتنقل في خط مستقيم وفي شكل قطري. وأوضحا أن الرشاشات التي تتنقل في مسار له شكل قوس تنتج نمط إضافة غير متماثل والذي يصعب بعض الشيء تحليله. ولكن، يعد تأثير النمط غير المتماثل مهملاً عندما تكون المسافة من نقطة المحور إلى الرشاش أكبر بخمس

مرات من نصف قطر البلل للرشاش. وفي حالة النظم المحورية فإن دقة حساب الانتظامية الناتجة من افتراض التنقل الخطي للرشاشات سوف تكون صغيرة، وبذلك سيتم عرض هنا فقط حلول المسار الخطي.

ويتجلى هذا في الإطار المستخدم للتحليل والذي وضعه بيتنجر ولونجنباوخ، والذي افترض وجود أنماط إضافة مياه مثلثية وبيضاوية بالنسبة للرشاش المفرد، كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,٢٥). ومعدلات تساقط المياه في حالة معدلات الإضافة المثلثية والبيضاوية معطاة كما يلي:

في حالة الأنماط المثلثية عندما $0 \le s \le W_r$ فإن $P = \frac{Pp_t}{W_r}(W_r - s)$

(١٦,٢٤)

وفي حالة الأنماط البيضاوية عندما $0 \le s \le W_r$ فإن $P = \frac{Pp_e}{W_r}\sqrt{W_r^2 - s^2}$

حيث إن:

P = معدل تساقط قطرات المياه على مسافة s من الرشاش، مم/ساعة.

Pp = أقصى معدل تساقط للقطرات عند موقع الرشاش، مم/ساعة.

W_r = نصف القطر المبلل للرشاش، م.

s = المسافة من نقطة الرصد إلى الرشاش، م.

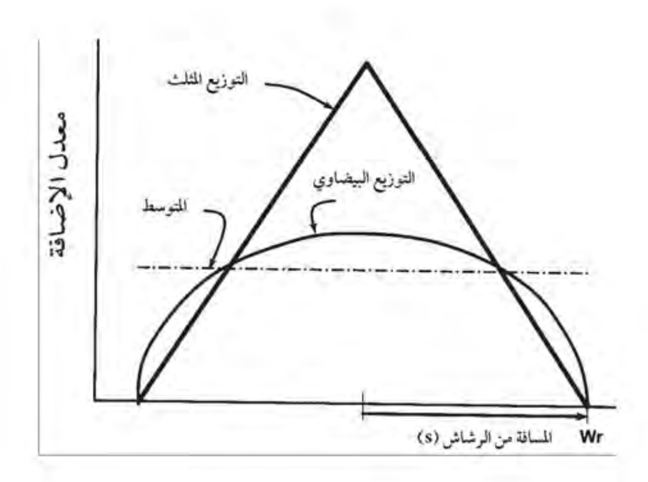
t, e = رموز سفلية تميز الأنماط المثلثية والبيضاوية.

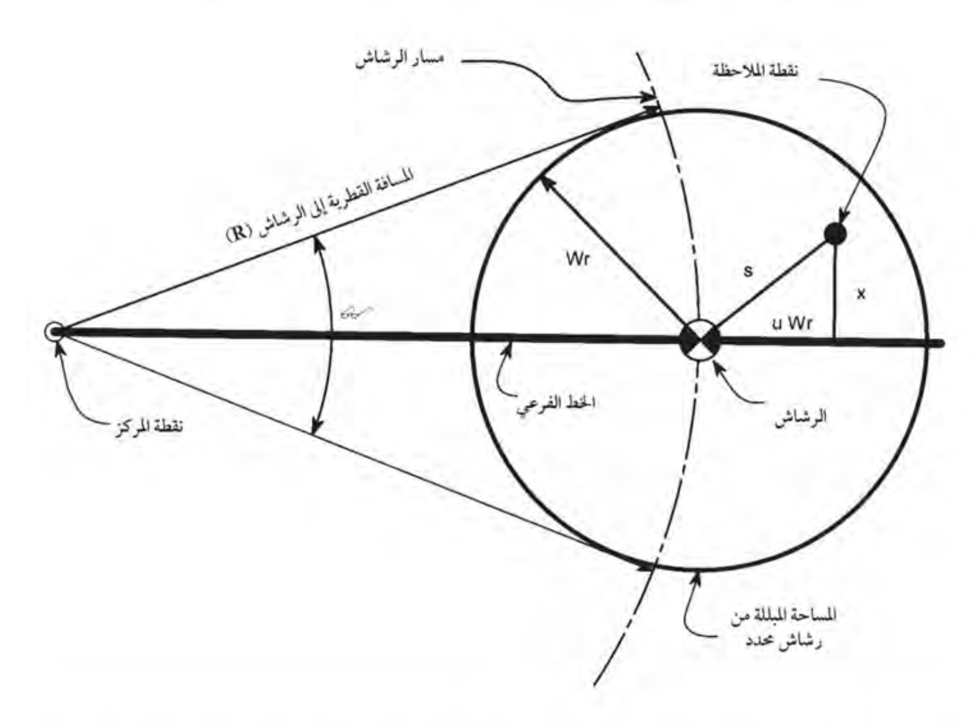
ويمكن حساب أقصى معدل إضافة للأنماط المثلثية والبيضاوية من تصرف الرشاش الموضوع عند مسافة قطرية R ونصف القطر المبلل من هذا الرشاش:

في حالة الأنماط المثلثية فإن $Pp_t = \frac{3q_R}{\pi W_r^2}$

(١٦,٢٥)

وفي حالة الأنماط البيضاوية فإن $Pp_e = \frac{3q_R}{2\pi W_r^2}$





الشكل رقم (١٦,٢٥). توضيح للمعاملات المستخدمة في حساب انتظامية إضافة المياه في نظم الري المحورية.

وقد وضعت الحلول للحصول على عمق المياه المضافة عند نقطة ما من الرشاش المفرد أثناء حركة الخط الفرعي المحوري على هذه النقطة من قبل بيتنقر ولونقنباوك Bittinger and Longenbaugh (1962). وقام هيرمان وهاين Heermann and Hein (1968) باستخدام هذا الإجراء لحساب عمق المياه على امتداد الخط المحوري من نقطة المحور إلى نهاية النظام المحوري. إن العمق المضاف عند نقطة يساوي مجموع المياه المضافة من كل الرشاشات التي تقوم بإضافة المياه إلى النقطة والتي تُعطى بالعلاقة:

في حالة الأنماط المثلثية

$$d=\frac{1}{\omega}\sum_{i=1}^{N}\frac{W_{ri}Pp_{t_i}}{R_i}\left[\sqrt{1-u_i^2}-u_i^2\ln\left(\frac{1+\sqrt{1-u_i^2}}{u_i}\right)\right]$$

(١٦,٢٦)

وفي حالة الأنماط البيضاوية

$$d=\frac{\pi}{2\omega}\sum_{i=1}^{N}\frac{W_{ri}Pp_{e_i}\left(1-u_i^2\right)}{R_i}$$

حيث إن:

d = عمق المياه المضافة عند نقطة ما.

u = نسبة المسافة من الرشاش إلى النقطة بالنسبة إلى نصف القطر المبلل للرشاش.

ω = السرعة الزاويّة للخط الفرعي المحوري.

R_i = المسافة القطرية من نقطة المحور إلى الرشاش i.

N = عدد الرشاشات التي تقوم بإضافة المياه إلى نقطة الدراسة.

ويمكن حساب السرعة الزاويّة من سعة النظام والعمق المتوسط للمياه المضافة (d_a):

$$\omega=\frac{2\pi Cg}{d_a}$$

(١٦,٢٧)

وعند استخدام هذه المعادلة يتم اختيار سلسلة من النقاط على امتداد الخط القطري والتي تمثل كثافة نقاط الرصد المرغوبة لحساب الانتظامية. وعند كل نقطة يتم

استخدام المعادلة رقم (١٦،٢٦) لحساب العمق الإجمالي للإضافة. وقد استخدم هيرمان وهاين Heermann and Hein (1968) هذه التقنية لحساب معامل الانتظامية في حالة المحاور الذي يُعطى بالعلاقة:

$$UC_p = 100\left[1 - \frac{\sum\left(X_j\left|d_j - \frac{\sum_j d_j X_j}{\sum_j X_j}\right|\right)}{\sum_j d_j X_j}\right] \qquad (١٦،٢٨)$$

حيث إن:

UC_p = معامل الانتظامية في حالة النظم المحورية.

X_j = المسافة من نقطة المحور إلى النقطة التي يتم حساب العمق عندها.

d_j = عمق المياه المضافة عند النقطة j .

وأوضحت النتائج الحقلية ونماذج المحاكاة أن انتظامية الإضافة تكون عالية جداً في حالة وجود نظم محورية جيدة التصميم والتشغيل. ومن الشائع أن نجد انتظاميات أكبر من ٩٠٪ في حالة النظم المحورية. وهذا يعد أكبر من معظم الأنواع الأخرى لنظم الري بالرش أو طرق الري البديلة.

ويفترض التحليل السابق أن السرعة الزاوية ثابتة. وبالطبع فإن الخط الفرعي للنظام المحوري لا يدور بسرعة زاوية ثابتة. فيتم تصميم بعض النظم المحورية بحيث تتحرك الأبراج بسرعة ثابتة لفترة من الوقت ثم يثبت البرج إلى أن يتم استقبال إشارة ليتحرك البرج مرة أخرى. ويتم تصميم نظم محورية أخرى لتتحرك باستمرار ولكن ليس بسرعة ثابتة. فإذا كان برج المحور ثابتاً عند نقطة ما فإن المساحة المروية أثناء هذا الوقت تستقبل عمق إضافة أكبر من المساحة المروية عندما يتحرك الخط الفرعي. وإذا تم

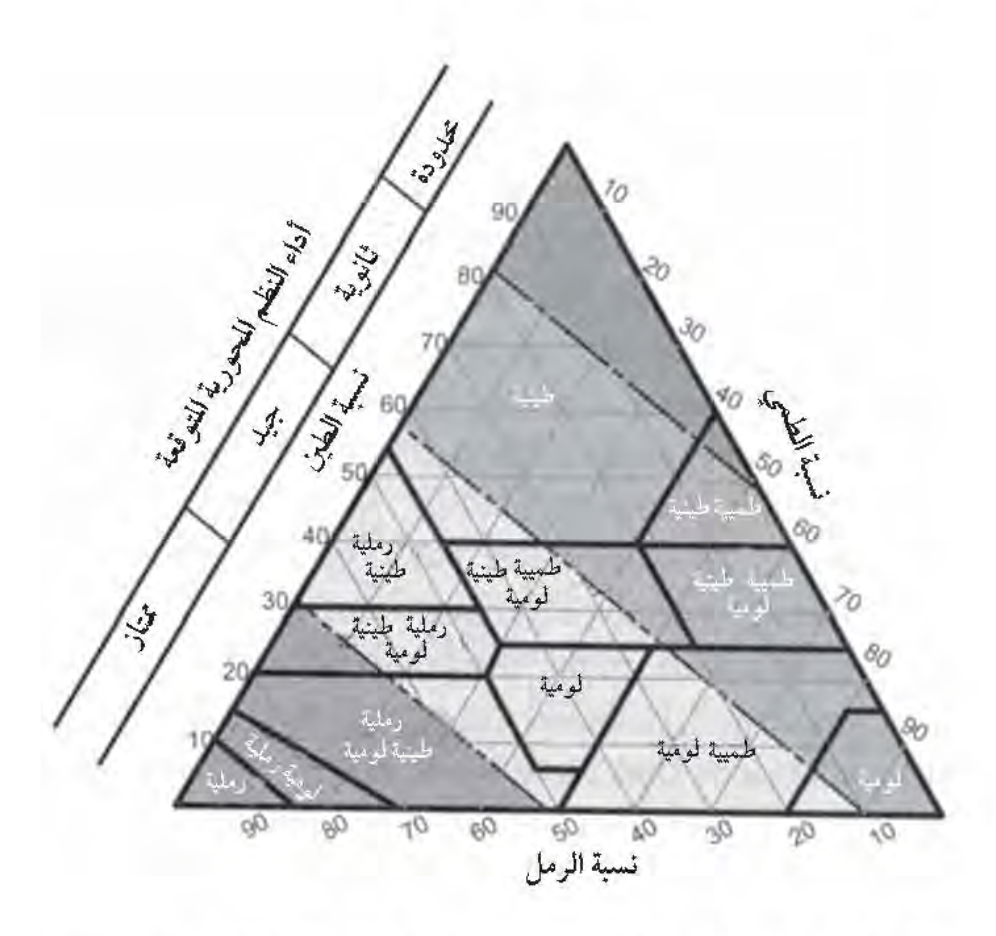
استخدام رشاشات لها نصف قطر بلل صغير، فإن عملية ابدأ-توقف في وقت لاحق يمكن أن تؤدي إلى عدم انتظامية، كما بين ذلك هانسون ووالاندر Hanson and Wallender (1985). وباستخدام هذا البرنامج كان بمقدورهما محاكاة أداء مجموعة الرشاشات مع أي طبيعة أرض وعلى إدخال تعديلات على نظام المحور الذي يتحكم في طبيعة ابدأ-توقف للمحور. وهذه الطريقة تسمح بالقيام بالتقييم الكفء لكثير من بدائل التصميم.

وإن التطوير المعروض يقوم على أنماط الإضافة المثلثية أو البيضاوية في حالة رشاش مفرد. والأجهزة التي تم تقديمها مؤخراً لها نمط إضافة تختلف عن تلك التي قام بتحليلها بيتنجر ولونقنباوك Bittenger and Longenbaugh (1962). ويجب أن تكون الطريقة المعروضة هنا جنباً إلى جنب مع التوزيع أحادي الأرجل لمجموعات الرشاشات التي تشكل مصدر قلق في تقييم أداء تلك الرشاشات.

وعند هذه النقطة يمكن حساب قطر الفوهة لكل رشاش على امتداد الخط الفرعي بالنسبة لمجموعات الرشاشات البديلة. ويمكن تقدير ضغط التشغيل عند نقطة المحور بالنسبة لطبيعة أرض الحقل وكل مجموعة رشاشات. وفي النهاية، يمكن حساب انتظامية الإضافة (Heermann amd Stahl, 2006). ولكن، هناك خاصيتان إضافيتان، يؤثران على ملاءمة التصميم هما الجريان السطحي وفواقد البخر.

(١٦,٧,٣) تجنب الجريان السطحي

لكي تعمل النظم المحورية بكفاءة يجب أن تكون المياه المضافة متاحة لاستخدام المحصول. وإذا جرت المياه على أراض مائلة أو تبخرت أثناء وجودها في الهواء، فلن يتم تحقيق كفاءة التصميم. وعرض كيلر وبليسنر Keller and Bleisner (1990) مخططاً بيانياً بسيطاً عن مدى ملاءمة النظم المحورية بناءً على قوام التربة (الشكل رقم ١٦,٢٦). وفي حين أن هذا يساعد على ملاءمة عامة، إلا أنه ليس كافياً لتصميم النظام المحوري.



الشكل رقم (١٦،٢٦). الأداء المتوقع لنظم النظام المحوري بناء على قوام التربة (مقتبس من Keller and Bleisner, 1990).

ويعتبر معدل إضافة المياه تحت الأبراج البعيدة عن مركز النظام المحوري عالياً جداً. ويمكن أن يتجاوز معدل الإضافة قدرة التربة على تسرب المياه. وبعض من المياه التي يتم إضافتها بمعدلات تتجاوز معدل التسرب يمكن تخزينها بشكل مؤقت على سطح التربة. وهذا يسمى بمخزون السطح أو مخزن الاحتجاز. وبمجرد أن يمتلئ مخزن

السطح الموضعي، فإن الإضافة الزائدة تبدأ في التدفق عبر الحقل. ويحدث بعض التسرب عند تدفق المياه عبر الحقل. وفي النهاية، إما أن تتراكم مياه الجريان السطحي في المناطق المنخفضة من الحقل أو تغادر الحقل. وفي كلتا الحالتين، يكون توزيع المياه التي تتسرب مختلفاً عن توزيع المياه التي يتم إضافتها ويتم فقد بعض من المياه على هيئة جريان سطحي أو تسرب عميق. وهكذا، تقل كل من الانتظامية والكفاءة عندما يصبح الجريان السطحي كبيراً.

وقام كينكيد وآخرون Kincaid *et al.* (1969) بدراسة إمكانية الجريان السطحي من نظم الري المحورية. وقاموا بتطوير طريقة لتعديل معدل التسرب الذي يتم قياسه باستخدام النظم التي تقوم بتجميع المياه على سطح التربة بالنسبة للحالات التي تحدث مع استخدام النظم المحورية. ولقد كان دايلون وآخرون Dillion *et al.* (1972) هم أول من قام بوضع خطوات التصميم التي تأخذ في اعتبارها خصائص التسرب للتربة. ولقد تم استخدام مزيج من هذه الخطوات من قبل جيلي Gilley (1984) لوضع الخطوط الإرشادية لاختيار مجموعة الرشاشات على أساس القدرة على الجريان السطحي. وبهذه الطريقة يتم افتراض نمط التوزيع البيضاوي لمجموعة الرشاشات. وإن توزيع مجموع المياه من تداخل الرشاشات الفردية يعمل على توفير معدل إضافة بيضاوي عمودي على الخط الفرعي (الشكل رقم ١٦،٢٧). ومعدل الإضافة هذا يُعطى بالعلاقة:

$$P(t) = \frac{Pp}{t_p}\sqrt{2\ t\ t_p - t^2} \qquad (١٦،٢٩)$$

حيث إن:

$P(t)$ = معدل إضافة المياه كدالة في الزمن (t) الذي يتم فيه إضافة المياه.

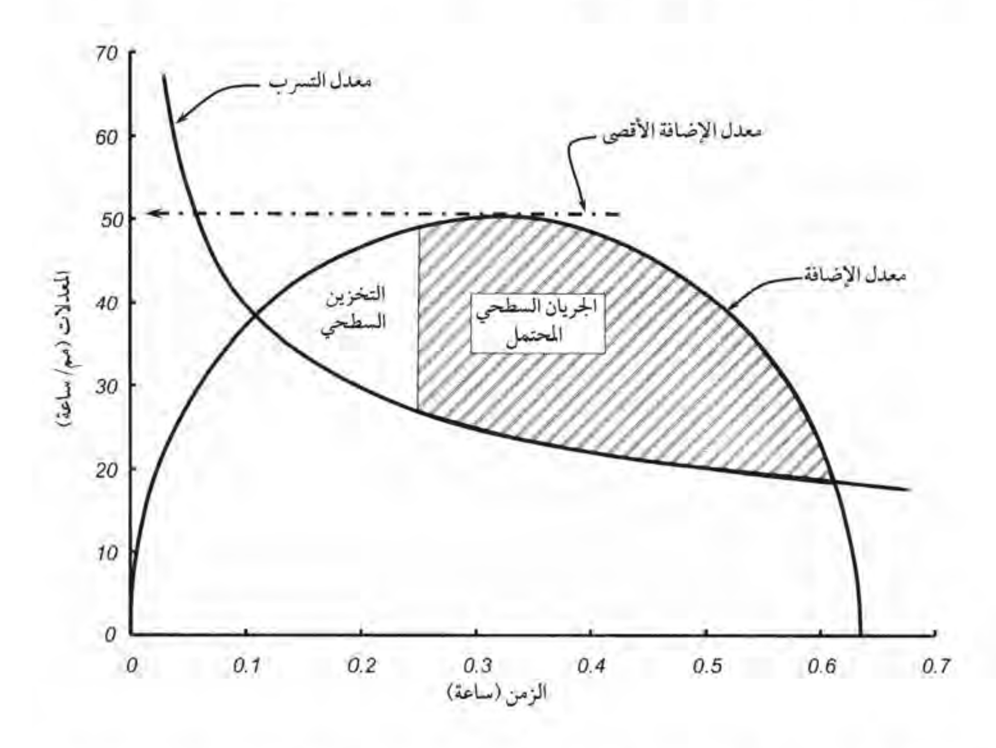
Pp = أقصى معدل إضافة في حالة النمط البيضاوي لمجموعة الرشاشات.

t_p = الزمن بعد البلل الأولي الذي يتم الوصول فيه لأقصى إضافة.

ومع هذا التوزيع لمجموعة الرشاشات يمكن حساب أقصى معدل إضافة كما يلي:

$$P_p = 4\left(\frac{Q_S}{\pi R_S^2}\right)\frac{R}{W_r} \qquad (١٦,٣٠)$$

ويوضح هذا أن أقصى معدل إضافة بالنسبة لمجموعة الرشاشات يعتمد بالكامل على تصميم النظام. وبمجرد أن يتم وضع معدل التدفق بالنسبة لنظام الري وتركيب مجموعة الرشاشات على المحور، يتم العثور على أقصى معدلات إضافة للنقاط على امتداد النظام. إن المقدار الموجود بين الأقواس في المعادلة (١٦,٣٠) يساوي السعة الكلية للنظام.



الشكل رقم (١٦,٢٧). توضيح إمكانية الجريان السطحي عندما يتجاوز معدل إضافة المحوري معدل تسرب التربة.

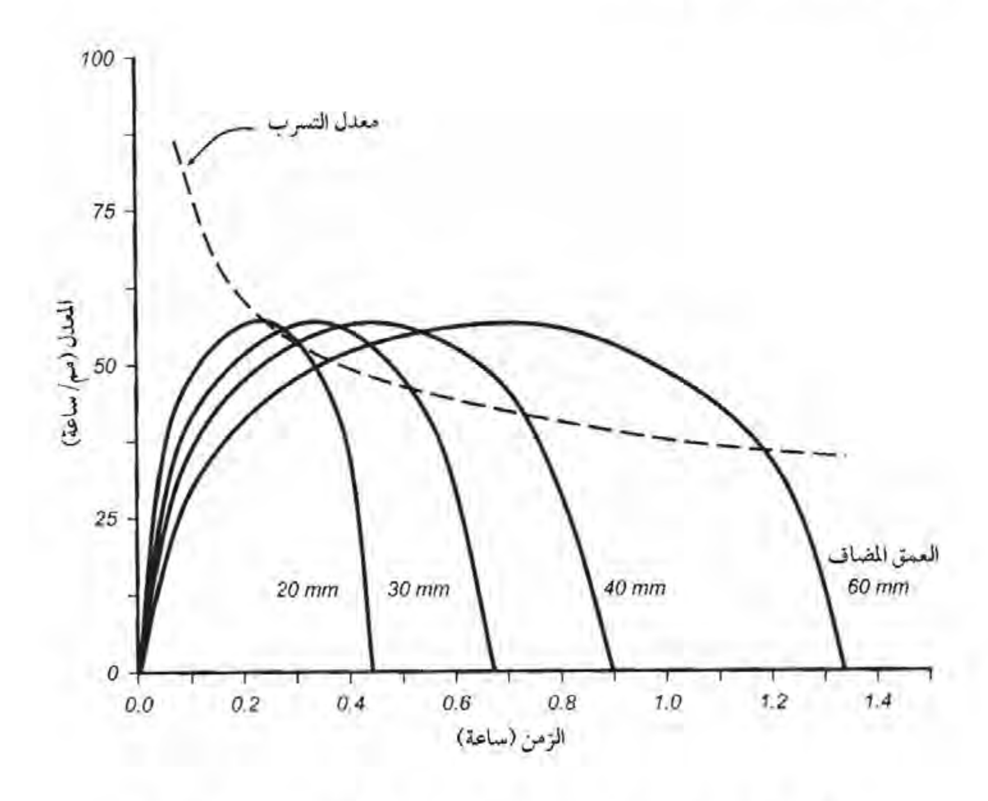
ويزداد أقصى معدل إضافة طردياً مع سعة النظام والمسافة من نقطة المحور وعكسياً مع نصف قطر البلل لمجموعة الرشاشات. ويمكن حساب الزمن المطلوب للوصول إلى أقصى معدل إضافة (t_p) من المعادلة:

$$t_p = \frac{W_r d_g}{2\pi R\left(\frac{Q_s}{\pi R_S^2}\right)} \quad (١٦,٣١)$$

وهكذا، فإن الزمن اللازم للوصول إلى أقصى معدل إضافة يكون مرتبطاً طردياً بنصف قطر البلل لمجموعة الرشاشات والعمق الكلي للمياه المضافة، وعكسياً بالمسافة من نقطة المحور وسعة النظام. ويبلغ الزمن الكلي الذي يتم فيه إضافة المياه إلى نقطة ما ضعف الزمن المطلوب للوصول إلى أقصى معدل إضافة في حالة النمط البيضاوي والذي يكون منتظماً حول أقصى معدل. وهكذا، يتأثر الزمن الذي يتم فيه إضافة المياه إلى نقطة ما بمتغيرات التصميم (أي، W_r، و R، و Q_S، و R_S) وبالإدارة (d_g). ويوضح المثال الوارد في الشكل رقم (١٦,٢٨) كيف يزداد احتمال الجريان السطحي في حالة زيادة أعماق المياه المضافة.

واستخدم قيلي Gilley (1984) معدلات التسرب المقدمة بمنحنيات عائلة التسرب التي قامت بعرضها هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية لتقدير أقصى معدل من المياه يمكن إضافته قبل أن يبدأ الجريان السطحي. وتم استخدام أحجام التخزين السطحي من قبل ديلون وآخرين Dillion *et al.* (1972) لدمج آثار الميل على عملية الجريان السطحي (الجدول رقم ١٦,١١). وتعرض نتائج قيلي في الشكل رقم (١٦,٢٩) لأربعة أنواع من التربة قام بتحليلها. وتعمل النتائج على توفير السبل لبدء التقييم المناسب لمجموعة الرشاشات في الحقل في وجود أنواع مختلفة من التربة والميول.

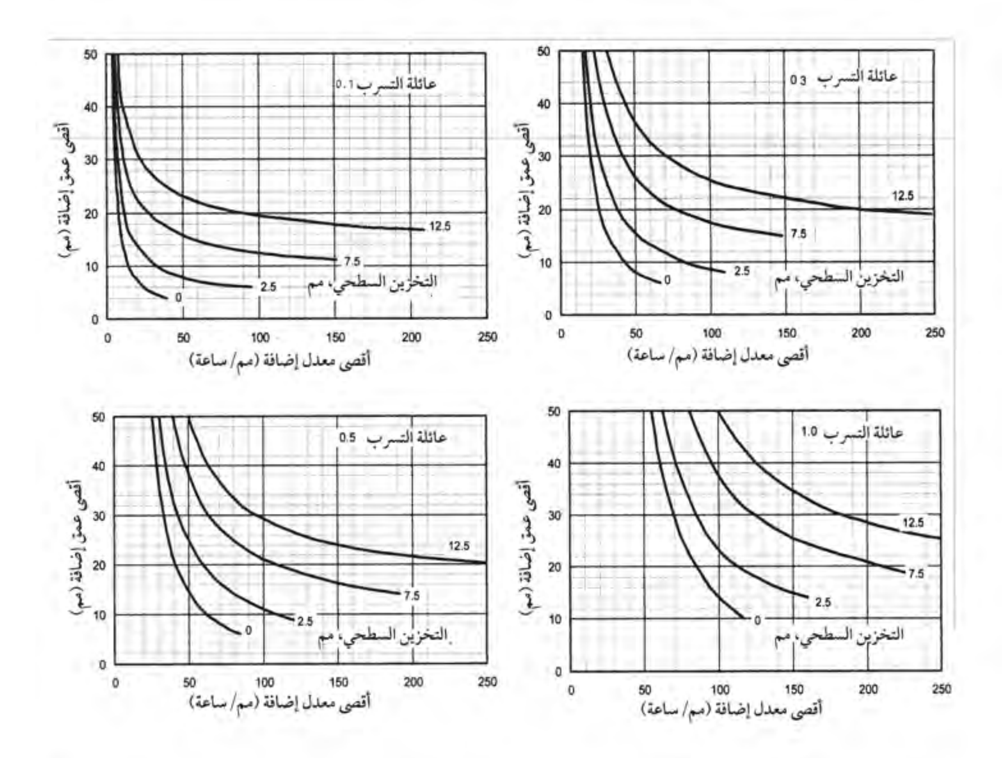
وتوسعت الطريقة التي يستخدمها جيلي لتفترض حقلاً كاملاً من قبل ويليم وآخرين Wilmes *et al.* (1994). وقام فون بيرنوث وقيلي Von Bemuth and Gilley (1985) ومارتن Martin (1991) بتعديل طريقة هاتشوم وألفارو Hachum and Alfaro (1980) ليتم استخدام طريقة قرين-أمبل بدلاً من طريقة العائلة لمحاكاة التسرب، وتسمح هذه التطويرات بالأخذ في الاعتبار تصلب سطح التربة والمحتوى المائي الأولي للتربة على توزيع المياه لأداء مجموعة الرشاشات.



الشكل رقم (١٦،٢٨). توضيح تأثير عمق الإضافة على الجريان السطحي المحتمل.

الجدول رقم (١٦,١١). التخزين السطحي المسموح به كدالة في الميل (Dillion *et al.*, 1972).

مدى الميل، ٪	التخزين السطحي المسموح به، مم
٠ – ١	١٢,٧
١ – ٣	٧,٦
٣ – ٥	٢,٥
أكبر من ٥	٠,٠



الشكل رقم (١٦,٢٩). أقصى عمق للإضافة لتجنب الجريان السطحي كدالة في أقصى معدل إضافة بالنسبة لمجموعة الرشاشات المركبة على النظام المحوري لأربع حالات من عائلات التسرب NRCS وقيم تخزين سطحي موضحة في الجدول رقم (١٦,١١).

إن المتغيرات المعطاة سابقاً لوصف أداء مجموعة رشاشات النظام المحوري توضح أنها تضمنت متغيرات النظام الخمسة. وبأخذ هذه المتغيرات في الاعتبار يوضح أن الجريان السطحي يزداد بزيادة سعة النظام، وعمق الإضافة، وطول الخط الفرعي. ويعد الجريان السطحي مرتبطاً بشكل عكسي بنصف قطر البلل لحزم الرش، ويمكن أن تحدث المشكلات إذا كان طول الفرع المحوري زائداً، وخاصة في حالة أنواع التربة ذات معدلات تسرب منخفضة وميول حادة. وللأسف، يحاول بعض من يقومون بالتشغيل معالجة مشكلات الجريان السطحي عن طريق تقليل سعة النظام. وهذا يعمل على زيادة احتمال إجهاد المياه أثناء فترات الجفاف وتشجع الإدارة التي تضيف المياه الزائدة أثناء وقت محدد في العام عندما تكون الحاجة للمياه قليلة في جهد للحماية من فترات إمداد المياه غير الكافي. إن الطرق مثل تلك التي طورها كل من هيرمان وآخرين Heermann *et al.* (1974) وفون بيرنوث وآخرين (1984) Von Benurth *et al.*، وهويل وآخرين (1989) Howell *et al.* لابد من توظيفها لحساب سعة النظام المطلوبة لموقع معين وتربة محددة. وتشمل هذه الطرق استخدام مياه التربة المخزونة لحمل المحاصيل عبر فترات المطلب البخاري العالية. ولا يجب على المستخدمين أن يقوموا بتقليل السعة لتجنب مشكلات الجريان السطحي.

وتعد مجموعة الرشاشات وعمق الإضافة هي التعديلات الأسهل في التطبيق بمجرد وضع النظام في مكانه. ويمكن بسهولة تعديل عمق الإضافة لكل عملية ري من قبل من يقومون بالتشغيل لإدارة الإضافات للحد من الجريان السطحي. ويمكن أن يكون هذا عملاً تكرارياً قائماً على أساس المراقبة الحقلية لمشاكل الجريان السطحي. وثانية أكثر الطرق سهولة لحل مشكلات الجريان السطحي هي استبدال مجموعة الرشاشات (ربما فقط على الأجزاء الخارجية أو البعيدة من المحور) للرشاشات التي تقوم بإمداد نصف قطر بلل أكبر لنفس الضغط الذي كان على المجموعة السابقة. وهناك أيضاً نظم الذراع المتاحة لنشر المياه عبر مسافة واسعة للقيام بتخفيف حدة المشكلة.

وكانت هناك أيضاً مجموعة من نظم الحراثة الخاصة التي وضعت لزيادة التخزين السطحي لتقليل الجريان السطحي. وأحد التطبيقات التي تم استخدامها تعمل على خلق خزانات مغروزة. ويتم استخدام الآلة لإنشاء الخزانات المغروزة التي تستخدم طبقات التربة السفلية والتي يتبعها جهاز حفار ذو ذراع يعمل على تكوين الخزانات. وقد ساعدت الأبحاث التي قام بإعدادها كل من اولفريا وآخرين Oliveria *et al.* (1987)، وكرانز وايزنهاور Kranz and Eisenhauer (1990)، وكيلهو وآخرين Cuelho *et al.* (1996)، وغيرهم على تحديد فوائد النظم التي تقوم بتطوير الخزانات المغروزة. وتقوم الخزانات المغروزة بإمداد من ٥ إلى ١٠ لتر من التخزين في كل خزان. وبالنسبة لكثافة الخزان وتباعد الصفوف التي تم استخدامها من قبل وكيلهو وآخرين Cuelho *et al.* (1996)، يكون حجم التخزين مكافئاً للمياه المستخدمة خلال يومين في منتصف الموسم إذا تم إضافة المياه لكل خط ويتم حراثة كل الخطوط بشكل خاص. إن المقدرة على الحفاظ على الخزانات طوال فترة الموسم الزراعي تختلف إلى حد كبير بناءً على تماسك التربة، والميل الموجود في الحقل، وأنماط سقوط المطر. ولقد استخدمت أحواض أخرى داخل الشقوق لتخزين المياه. ويبلغ طول تلك الأحواض بشكل عام من ١ إلى ٣ م. وعلى العموم يمكن أن تقوم الأحواض بتخزين مزيد من المياه أكثر من الخزانات المغروزة ولكنها لا تتلاءم على نحو جيد مع التربة المائلة. وفي النهاية، لابد أن يقوم المصمم بالموازنة بين كميات التوفير المحتملة لاستخدام الرشاشات منخفضة الضغط التي يكون لها أنصاف أقطار بلل أصغر من الرشاشات التي تتطلب مزيداً من الضغط في مقابل تكاليف أعمال الحرث الخاصة لتخزين المياه التي ربما تنساب. وفي بعض المواقع هناك فائدة إضافية من الحرث خاصة في تقليل الجريان السطحي والبعثرة الناتجين من سقوط المطر.

(١٦,٧,٤) أجهزة ري الأركان

تزود كثير من النظم المحورية برشاشات خاصة يتم إلحاقها بنهاية الخط الفرعي للعمل على زيادة مساحة الأرض المروية في الأركان الموجودة في الحقل، ويشغل الرشاش المدفعي الطرفي عندما يصل الخط الفرعي لزاوية مركزية ما حيث سيبقى إلقاء الرشاش

المدفعي الطرفي داخل حدود الملكية الخاصة (الشكل رقم ١٦,٣٠). ولقد تم عرض الزاوية المركزية (β) التي يقوم المحور بعملها من قبل فون بيرنوث von Bernuth (1983):

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{R_S}{R_E}\right) \quad (١٦,٣٢)$$

حيث إن R_E تساوي الطول القطري الكلي المروي عند تشغيل الرشاش المدفعي الطرفي. والمساحة المروية في جهة الأركان (A_E) تعطى بالعلاقة:

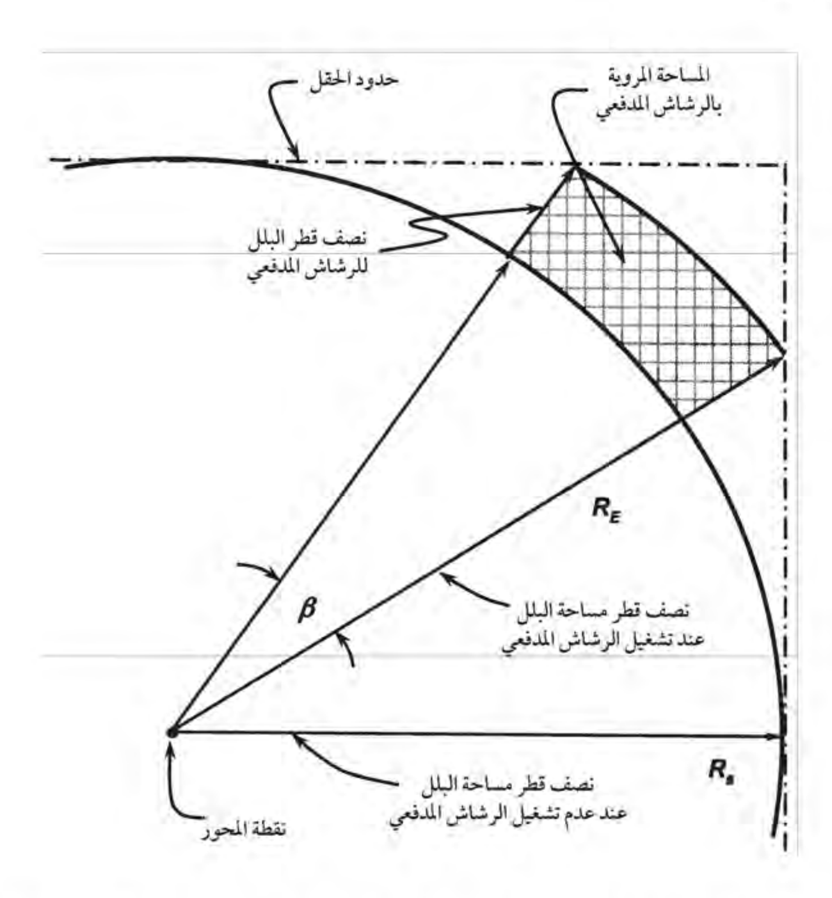
$$A_E = \left(R_E^2 - R_S^2\right)\left[\frac{\pi}{4} - \cos^{-1}(\beta)\right] \quad (١٦,٣٣)$$

وتوضح هذه العلاقات أن هناك مقايضة بين الطول القطري للمساحة المروية باستخدام الرشاش المدفعي الطرفي والزاوية المركزية المروية. عندما تكون تغطية الرشاش المدفعي الطرفي قصيرة، فإن الزاوية المركزية تكون أكبر ولكن المساحة التي يتم اكتسابها لكل وحدة دوران من الخط الفرعي تكون صغيرة. إن المساحة المروية في أحد الأركان بالنسبة للمساحة المروية باستخدام النظام الأساسي موضحة في الشكل رقم (١٦,٣١). توضح هذه النتائج أن الأركان تزداد عندما يبلغ طول تغطية الرشاش المدفعي الطرفي ($R_E - R_S$) تقريباً ١٨٪ من نصف قطر النظام (R_S).
يعتمد تصرف رشاش مدفعي طرفي ما على طول التغطية الناتجة منه:

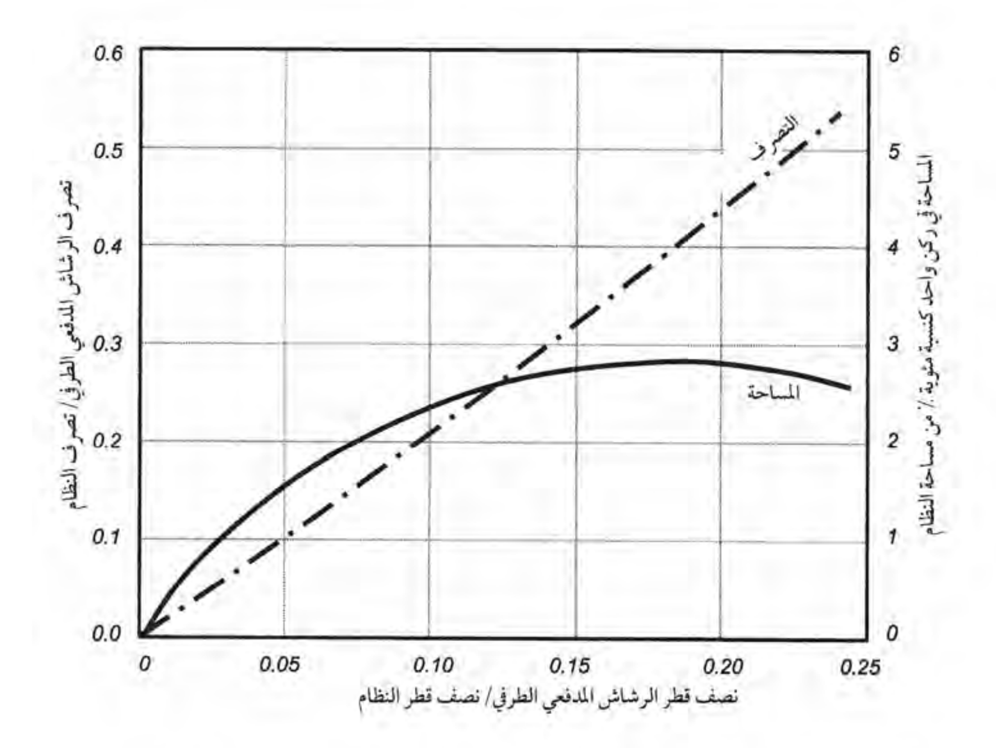
$$q_E = Q_S \frac{\left(R_E^2 - R_S^2\right)}{R_S^2} \quad (١٦,٣٤)$$

حيث إن q_E هو التصرف المطلوب للرشاش المدفعي الطرفي.
ويبلغ تصرف الرشاش المدفعي الطرفي تقريباً ٣٥٪ من التصرف المطلوب للنظام الرئيس إذا تم ري المساحة المثلى (الشكل رقم ١٦,٣١)، وفي حين أن النتائج الموضحة

فـي الـشكل رقـم (١٦,٣١) تـبين أن المساحة تـزداد بنـسبة مقـدارها ١٨٪ مـن طـول النظام، فيكون من الصعب العثور على رشاشات مدفعية طرفية لتوفير نـصف القطر المبلل المطلوب عند التصرف اللازم. ولا تتغير المساحة المروية في الـركن بـشكل كـبير في حـالة وجـود أنـصاف أقطار أكبر مـن ١٢٪ مـن طـول النظام، وبالتـالي، يمكـن أن يكون نصف قطر البلل للرشاش الـمدفعـي الطرفي أقـل مـن الأمثـل مـع فـواقـد قليلـة في المساحة.



الشكل رقم (١٦,٣٠). توضيح المعاملات المستخدمة لوصف المساحة المروية في أركان المحور.



الشكل رقم (١٦,٣١). التصرف المطلوب لرشاش مدفعي طرفي ما كنسبة مئوية للتدفق للنظام الرئيس والمساحة الموجودة في أحد الأركان من الحقل نسبة للمساحة الموجودة في الحقل الرئيس.

وقام سولومون وكودوم Solomon and Kodoam (1978) بتوفير البيانات حول نمط الرشاشات الطرفية. وقد أوضحا أن عمق الإضافة النمطي من الرشاشات المدفعية الطرفية يقل قرب أطراف النمط المبلل من قبل الرشاش المدفعي الطرفي. لأن الإضافة تتناقص تدريجياً عند الطرف ، فربما يكون من الضروري إضافة بعض المياه خلف حافة الحقل لضمان أن المحاصيل التي تم زراعتها تتسلم إمداداً كافياً من المياه. وفي الأجواء

المناخية شديدة الرياح يعد هذا هاماً بشكل خاص. فإضافة المياه لما وراء حدود أرض المحصول المزروعة تقلل كفاءة الإضافة للرشاش المدفعي الطرفي لأقل من كفاءة النظام الأساسي وتؤثر على الزاوية المركزية إذا لم يكن بالإمكان القيام بإلقاء المياه إلى الأرض المجاورة.

وكثير من النظم المحورية المستخدمة اليوم تقوم باستخدام مجموعة رشاشات منخفضة الضغط للنظام الأساسي. وبالرغم من أن الرشاشات المدفعية الطرفية قد تطورت بحيث تتطلب ضغطاً أقل من بدايات استخدامها، وغالباً ما تتطلب الرشاشات المدفعية ضغطاً أكبر للتشغيل الكافي عن الضغط المتاح عند نهاية الخط الفرعي لكثير من مجموعة الرشاشات. وهناك حاجة بشكل عام لوجود مضخة معززة في هذه النظم للعمل على توفير ضغط التشغيل الكافي. وعادة ما يتم وضع المضخة المعززة قرب نهاية الخط الفرعي، في الغالب عند البرج الأخير. ولتوفير خط إمداد خاص يكون هذا من الخط الفرعي إلى المضخة المعززة وفي النهاية إلى الرشاش المدفعي الطرفي. ويتم حساب الطاقة اللازمة للرشاش المدفعي الطرفي من تصرف الرشاش المدفعي الطرفي والفرق في الضغط بين هذا الخاص بخط الرش الفرعي عند النهاية القصوى والضغط المطلوب للرشاش المدفعي الطرفي. وأيضاً لابد من الأخذ في الاعتبار أي فواقد في الضغط في نظام الإمداد إلى الرشاش المدفعي الطرفي.

وكما توضح المعلومات المذكورة سابقاً فإن التصرف من الرشاش المدفعي الطرفي يمثل جزءًا كبيراً من التدفق للنظام الأساسي. وهذا يؤدي إلى مزيد من الفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي أثناء عمل الرشاش المدفعي الطرفي، مما يمكن أن يتسبب في انخفاض التصرف من الرشاشات الموجودة على الخط الفرعي. وفي النهاية، لابد من القيام بإنشاء منحنيين للنظام لتحديد كيف يتفاعل النظام المحوري مع المضخة المستخدمة لإمداد مياه الري. ولابد من القيام باختيار المضخة التي تقوم بتوفير العمل

الكفء في كلتا الحالتين. وسوف يكون من المرغوب فيه أن يكون الفرق صغيراً بين التصرف للنظام الأساسي عندما يعمل الرشاش المدفعي الطرفي وعندما يكون متوقفاً عن العمل.

وللقيام بري أكبر جزء من مساحة أركان الحقل ما يروى بالنظام المحوري فإنه يتم تركيب جسر ركن عند نهاية الخط الفرعي الأساسي. وعندما يدور الخط الفرعي بزاوية مناسبة، فإن جسر الركن يبدأ في التحرك إلى داخل ركن الحقل. وبقيام جسر الركن بالدوران في الركن، فإن سلسلة من الرشاشات تبدأ العمل. وتعمل مزيد من الرشاشات بدوران جسر الركن لمسافة أكبر في الركن. وتعد هيدروليكا نظام الركن معقدة جداً وتتطلب القيام بعمل نموذج على الحاسب الآلي للتنبؤ بأداء ماكينات الركن.

(١٦,٨) نظم الحركة المستقيمة

تم استخدام مكونات نظم النظم المحورية لتطوير نظام يتحرك في خط مستقيم، وتسمى هذه النظم بنظم الحركة الخطية أو المستقيمة. وتعد الأبراج، ومواد تصنيع الأنابيب، ونظم الجمالون شبيهة جداً بالنظم المحورية. والفرق أنه بدلاً من التمحور حول قاعدة ثابتة حيث يتم إمداد المياه، فإن إمداد المياه إلى الخط الفرعي يعد متاحاً عبر طول الحقل. وتعد كميات إضافة المياه وتكرار الري لنظم الحركة المستقيمة شبيهة بتلك التي تخص النظم المحورية. ومن هنا، فإن الخطوط الإرشادية وقيود التصميم والتشغيل بالنسبة للمحاور تنطبق بشكل عام على نظم الحركة المستقيمة.

ويمكن إمداد المياه إلى نظام الحركة المستقيمة من خلال واحدة من ثلاث طرق. يمكن أن تجري قناة إمداد بشكل متواز لاتجاه حركة نظام الحركة المستقيمة (الشكل رقم ١٦,٣٢). والمضخة التي يتم تركيبها على برج الإمداد تقوم برفع المياه من القناة وتقوم

بضغط المياه للنظام. وبالرغم من إمكانية إلحاق سد متنقل إلى نظام الشفط لمنع التدفقات على الحقول المائلة، فإن نظام القناة يقتصر على الحقول المستوية نسبياً في اتجاه الحركة. والخيار الثاني هو القيام بسحب خرطوم عبر الحقل بشكل شبيه بسحب المتنقل (انظر الجزء ١٠,١٦). ويتم إمداد المياه من المضخة الرئيسة إلى الرافعة على امتداد مسار التنقل لبرج الإمداد. ويتم إلحاق خرطوم للرافعة وللمدخل عند برج الإمداد. وبتحرك الجهاز فإنه يقوم بسحب الخرطوم عبر الحقل. وفي كثير من المرات يتم وضع صمام في وسط الحقل ويكون خرطوم الإمداد طويلاً بدرجة كافية لري الحقل بأكمله بلا توقف. وإذا كان الحقل بالغ الطول، من الممكن أن تكون هناك حاجة لعديد من الرافعات. ولقد تم تصميم نظم الحركة المستقيمة للقيام بشكل آلي بتوصيل الصمامات المتصلة لخط رئيس تحت الأرض. ويتم تجهيز هذا النوع من النظم بعربات صغيرة تقوم بتحريك وجر النظام الجانبي. وتتصل العربات الصغيرة بشكل آلي بالصمامات المركبة على الرافعات من الخط الرئيس المدفون. ويتم إمداد المياه من خلال واحدة أو اثنتين من العربات الخفيفة. ويعد هذا النظام باهظ الثمن ومعقداً، وبالتالي، فقد تم إنتاج كميات قليلة من هذه النظم.

ويتطلب نظام الحركة المستقيمة نظام توجيه للتحكم في اتجاه التنقل. وقد تم استخدام ثلاثة أنواع من النظم. أحد هذه النظم يستخدم كابلاً فوق الأرض يمتد عبر الحقل موازياً لاتجاه التنقل. وتتبع مجموعة من الماكينات على العربة الصغيرة الكابل وتعمل على إبقاء الحركة المستقيمة في هذا المسار. ويقوم الخيار الثاني باستخدام إشارة من كابل مدفون منخفض الجهد له نظام توجيه باللاقط الهوائي مركب على برج المراقبة. ويقوم الخيار الثالث باستخدام خندق يتقاطع مع الحقل لتحديد الاتجاه. ويقوم الموجه باتباع الخندق لتوجيه نظام الحركة المستقيمة عبر الحقل.





الشكل رقم (١٦،٣٢). أمثلة على نظم الحركة المستقيمة التي يتم إمدادها بنظام قناة وخرطوم ماص.

إن نظام التوجيه والمحاذاة على ماكينات الحركة المستقيمة يتم تحديد حدوده للحفاظ على المحاذاة السليمة ولضمان أن النظام يتبع المسار المقصود. ويتم التحكم في سرعة البرج الأخير من قبل من يقوم بالري لإضافة العمق المرغوب من المياه. وتعمل محاذاة الأبراج الفردية بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة بشكل شبيه بأبراج النظم المحورية. ولكن، لا يضمن هذا أن تتقدم الحركة المستقيمة بشكل مواز لكابل التوجيه. ويتم تصميم ماكينات التوجيه للعمل على تقليل سرعة الأبراج الداخلية إذا بدأت الحركة المستقيمة في التحرك بعيداً عن كابل التوجيه. وإذا كان نظام الحركة المستقيمة يتقدم بزاوية مع كابل التوجيه، فإن سرعات الأبراج الداخلية تزداد مما يتسبب في أن تعمل الحركة المستقيمة على تغيير اتجاه الحركة.

لنظم الحركة المستقيمة خصائص شبيهة بالنظم المحورية. ولديها كذلك المزايا التالية:

- جزء كبير من الحقل المربع يتم ريه أكبر مما يحدث باستخدام النظم المحورية.
- يمكن القيام بري حقل له شكل مستطيل.
- يكون معدل إضافة المياه أقل مما هو باستخدام النظم المحورية، مما يؤدي إلى مشكلات أقل متعلقة بالجريان السطحي.

وعيوب نظم الحركة المستقيمة هي:

- تكون التكلفة لكل وحدة مساحة يتم ريها أكبر بشكل فعلي منها في حالة النظم المحورية.
- يكون هناك حاجة لمزيد من العمالة لتحريك النظام إلى نقطة البداية أو لعكس النظام بحيث يصبح في الإمكان القيام بالري في الاتجاه العكسي.
- الخرطوم المستخدم لإمداد النظام يمكن أن يصعب تحريكه وتركيبه.
- نظم التوجيه والإمداد فوق الأرض تتداخل مع أعمال المزرعة.

إن استخدام نظم الحركة المستقيمة يختلف بدرجة كبيرة عن استخدام النظم المحورية. فإن تكاليف الاستثمار الأعلى والعمالة الزائدة المطلوبة لإدارة إمداد المياه ولإعادة تحديد موضع نظام الحركة المستقيمة يحولان دون الاستخدام الأوسع للنظام. ومع ذلك، تقوم النظم بعرض وعد بديل. تعد نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (LEPA) والأنواع الأخرى من مجموعة الرشاشات التي تكون قادرة على إضافة المياه أسفل ظلال المحصول ملائمة على نحو جيد لنظم الحركة المستقيمة. مثل هذه النظم تصبح بشكل ضروري نظم ري رذاذي متحركة. وإذا كان تطوير سبل الري الخاص بالموقع يتطور، فإن نظم الحركة المستقيمة تعد الخيار المنطقي لإمداد مياه الري، ومغذيات المحصول، والكيماويات الزراعية الأخرى. وبالتالي، فهناك أسباب جيدة لافتراض أن استخدام نظم الري بالحركة المستقيمة سوف يزداد.

(١٦,٨,١) التخطيط

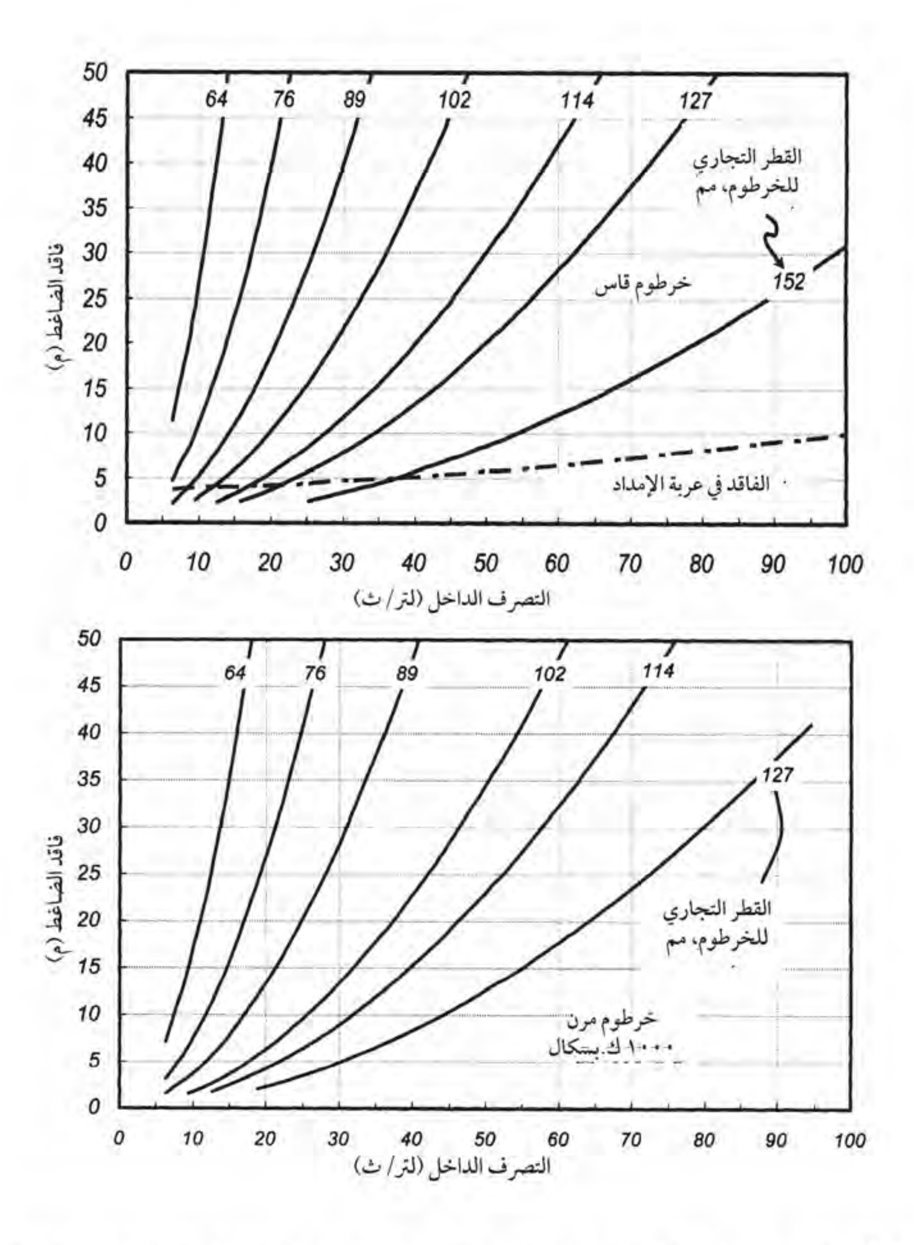
حيث إن التكلفة لكل وحدة طول من نظام الحركة المستقيمة تتجاوز عادةً التكلفة الخطية لنظام إمداد المياه، فيمكن تقليل تكاليف الاستثمار عن طريق تخطيط نظام يكون فيه خط الأنابيب الفرعي موازياً لأقصر جانب من الحقل المستطيل. هذا التوجه يؤدي إلى مسافات تحرك أكبر تنتج فترات بين الريات أطول. إن طول الحقل، وسعة إمداد المياه، وعمق الإضافة تعمل كلها على تحديد الفترة بين الريات. ويجب عند إعادة موضع نظام الحركة المستقيمة إلى موضع بداية بعد إتمام كل عملية ري فإن زمن التوقف المطلوب لنقل الحركة المستقيمة ونظام إمداد المياه يجب أن يتم اشتماله في الفترة بين الريات. وفي بعض الحالات يقوم من يقوم بالري بعكس اتجاه الحركة عند أحد أطراف الحقل ويقوم بالري في الاتجاه المعاكس كي يبدأ عملية الري التالية. وهناك زمن توقف لإعادة موضع نظام إمداد المياه لهذا النمط من التشغيل، ولكنه ليس على النحو المطلوب لإعادة نظام الحركة المستقيمة إلى موضع البداية. ومع هذا النوع من

التشغيل فإن عمق المياه المضافة والفترة بين الريات عند أطراف الحقل من الضروري أن تكون ضعف ما يوجد عند منتصف الحقل. ولابد من اتخاذ الحيطة لتجنب التسرب العميق و/أو الإجهاد المائي عند أطراف الحقل عند التشغيل بهذا النمط.

ولا تعد نظم الحركة المستقيمة قادرة على التكيف مع الأراضي شديدة الانحدار أو التضاريس شديدة التباين. فإن أقصى ميل موصى به على امتداد الجانبين يمكن أن يصل إلى ٦٪، ولكن يجب أن يكون بشكل عام أقل من ٢٪. ونوع نظام إمداد المياه واتجاه التشغيل يحددان أقصى ميل في اتجاه الحركة. وبالنسبة لنظم التغذية بالقناة يبلغ أقصى ميل حوالي ٠,٥٪، في حين أنه يساوي ١٪ من نظم التغذية بالقناة مع وجود سد متنقل في القناة و٣٪ بالنسبة للنظم التي يتم إمدادها بالخرطوم.

ويمكن تقليل الفاقد في الضغط في الخط الفرعي عن طريق وضع نظام إمداد المياه في منتصف الحقل. ولكن، ربما يشكل هذا عقبات أمام العمليات الزراعية التي تكون أقل حدة إذا تم وضع مصدر المياه على امتداد حد الحقل. وينبغي مناقشة الآثار المترتبة على كل بديل مع المنتج.

وكما هو الحال مع جميع نظم الري بالرش يجب تصميم الخط الرئيس بعد تصميم الخط الفرعي لنظام الحركة المستقيمة. يمكن وضع منحنى الضاغط-التصرف لتوافق المضخات مع نظام الرش عن طريق التعامل مع الحركة المستقيمة كرشاش جانبي كبير أو من الممكن استخدام دالة توزيع الضغط بشكل مباشر. تعتمد علاقة الضاغط-التصرف على الفواقد الحادثة في نظام النقل، وعربات الإمداد، ونظام سحب القناة. وتظهر الفواقد في مختلف مكونات النظم النمطية في الشكل رقم (١٦,٣٣). ولابد من الحصول على بيانات حول نماذج محددة لأجل التصميم النهائي.



الشكل رقم (١٦,٣٣). فاقد الضاغط في الخراطيم القاسية والمرنة في نظام الحركة المستقيمة ونظم الــري المتنقلة. وموضح كذلك فاقد الضاغط في عربة الإمداد بالنسبة للناقلات.

(١٦,٨,٢) إضافة المياه

لنظم الحركة المستقيمة خصائص شبيهة بالنظم المحورية والنظم المتنقلة دورياً. ولابد أن يكون التصرف من الرشاشات ثابتاً كما هو الحال في الخطوط الفرعية المتنقلة. والتصرف يُعطى بالعلاقة :

$$q_S = \frac{Q_S S_L}{F_W} \quad (١٦,٣٥)$$

حيث يكون عرض الحقل (F_W) موازياً للخط الفرعي.

ويكون توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي شبيهاً بالتوزيع في الخطوط الفرعية المتنقلة ، ومع هذا تكون المواد التي يتم منها تصنيع الأنابيب شبيهة بمواد النظم المحورية. يمكن حساب الاحتكاك لكل وحدة طول على امتداد الخط الفرعي من الجدول رقم (١٦,١٠)، ولكن لابد من إيجاد قيمة F بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة كما هو الحال مع الخطوط الفرعية المتنقلة.

ويستخدم الضغط والتصرف المطلوب لاختيار مجموعة الرشاشات وأقطار الفوهات. ويعد نظام الحركة المستقيمة مختلفاً عن الخطوط الفرعية المتنقلة في أن قطر الفوهة ربما يختلف على امتداد الخط الفرعي بتغير الضغط. وإذا كان يتم استخدام أجهزة لتنظيم الضغط على امتداد الماكينة بأكملها ، فلابد أن تكون أقطار الفوهات ثابتة.

يعد معدل الإضافة منتظماً على امتداد الخط الفرعي من نظام الحركة المستقيمة لأن المساحة الممثلة لجميع الرشاشات متساوية. ويمكن حساب معدل الإضافة باستخدام الأنماط المثلثية أو البيضاوية كما تم عرضه آنفاً. وأقصى معدل إضافة لنظام الحركة المستقيمة يكون معطى بالعلاقة :

$$P_P = \frac{4Q_S}{\pi W_r F_W} \quad (١٦,٣٦)$$

وزمن أقصى معدل إضافة هو:

$$t_P = W_r / v \quad (١٦,٣٧)$$

حيث إن v متوسط السرعة الخطية لنظام الحركة المستقيمة و W_r نصف قطر التغطية بالنسبة لمجموعة الرشاشات.

وللحصول على تساو لسعات النظام الصافية وكفاءات الإضافة، فإن أقصى معدل إضافة لنظام الحركة المستقيمة يكون مساوياً لمعدل الإضافة الموجود عند النقطة التي تبلغ ٦٥٪ من الطريق على امتداد الخط الفرعي من المحور. وعمق المياه المضافة لكل عملية ري يُعطى بالعلاقة:

$$d_g = \frac{Q_S}{vF_W} \quad (١٦,٣٨)$$

ويمثل الجريان السطحي مشكلة أقل مع نظم الحركة المستقيمة عنه بالنسبة للنظم المحورية؛ لأن انحدارات الحقل تكون أقل مما يتم العثور عليه في بعض الأحيان في حالة النظم المحورية ويكون أقصى معدل إضافة أقل منه في حالة المحاور. وعلاقات الجريان السطحي في حالة النظم المحورية في الشكل رقم (١٦,٢٩) يمكن استخدامها لتحديد ما إذا كان الجريان السطحي مشكلة محتملة.

وتعمل نظم الحركة المستقيمة على توفير الفرصة للحصول على انتظامية عالية جداً للإضافة. ويمكن استخدام الرشاشات التي تعمل في جزء من دائرة لتحسين الانتظامية عند حدود الحقل. ويمكن تقدير تأثير المسافات بين الرشاشات على الانتظامية باستخدام الإجراءات المتداخلة التي تم وضعها للمحاور المركزية.

وتستبدل نظم الري بالرش الآلية بشكل متزايد محل نظم الري السطحية، وعندما يتم استبدال النظم فلابد أن تتغير إدارة الري. ومن المشاكل المتكررة هي أن يحاول من يقوم بالري إضافة نفس العمق من المياه لكل عملية ري باستخدام نظم الري بالرش الآلية، وهذا يكون بشكل عام غير ناجح. وتحدث مشاكل الجريان السطحي والسحب بشكل عام عند استخدام مثل هذه الإدارة. إن إضافة أعماق أصغر في كل عملية ري تزيد من احتمال أن تقوم نظم الري بالرش الآلية بتوفير كفاءات إضافة عالية. ويجب أن يكون أقصى عمق للمياه المضافة باستخدام نظم الحركة المستقيمة أقل من ٥٠ مم، ويعتبر عمق ماء مضاف مقداره ٢٥ مم هو العمق النمطي.

(١٦,٨,٣) نظام إمداد المياه

تختلف اعتبارات التصميم بناء على نوع مصدر المياه المستخدم مع نظام الحركة المستقيمة. وبالنسبة للنظم التي تقوم بسحب خرطوم إمداد، فإن اعتبارات التصميم تتضمن فاقد الاحتكاك في الخرطوم والعناصر الأخرى لنظام إمداد المياه والقوة المطلوبة لسحب الخرطوم عبر الحقل.

وتبلغ خشونة الأنبوب بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام (أي، قيمة C) ١٥٠ عند استخدام خراطيم قاسية أو مرنة من مصدر المياه، وإن القطر الداخلي للخراطيم المرنة يختلف مع الضغط داخل الأنبوب ولابد من الحصول على بيانات إضافية حول ضغط التشغيل غير تلك الموضحة في الشكل رقم (١٦,٣٣). وهناك حدود حول نصف قطر الالتواء الأقصر لكل خرطوم. وتتسبب الالتواءات القصيرة في فتل الخرطوم المرن، مما يعمل بشكل مؤقت على إيقاف التدفق، ولكن ليس هناك تلف طويل المدى للخرطوم. ويمكن أن يتلف الخرطوم القاسي إذا تم ليه بشدة.

وتعمل القوة المطلوبة لسحب الخرطوم على تقييد أقصى قطر وطول للخرطوم وربما يتطلب تصميماً خاصاً للبرج الذي يقوم بسحب الخرطوم. وأطوال الخرطوم التي تبلغ ٢٠٠ م هي التي يشاع أنها الطول الذي يتوافق على نحو جيد مع أبعاد الحقول المملوكة في الولايات المتحدة. ولا يشاع استخدام خراطيم أطول من ٢٠٠ م ولابد فقط

من تحديد أطوالها باستشارة الشركات المصنعة. الأبراج العادية المستخدمة لسحب خرطوم ليست قادرة عادة على سحب طول ٢٠٠ م لخرطوم قطره ٢٠٣ مم. وحتى في حالة وجود خرطوم له قطر أصغر، فمن الممكن تجهيز برج الإمداد بأربع عجلات بدلاً من الاثنتين العاديتين. وهذا يعمل على تحسين السحب على الأسطح المبللة أو الزلقة.

وتتطلب النظم التي يتم إمدادها من قناة ما أن تتوافق سعة القناة، وسعة النظام، ومصدر إمداد المياه، والمضخة الموجودة على السطح، ووحدة الطاقة. وبمعرفة التضاريس يصبح من الممكن تصميم القناة باستخدام خطوات مذكورة في الفصول السابقة حول نظم النقل. ويبلغ أدنى عمق للقناة في العادة حوالي ١ م، ويبلغ عرض العمق الأدنى حوالي ٠,٣ إلى ٠,٦ م. إن البعثرة، ومراقبة الحشائش، والقمامة في القناة تعد مشاكل لابد من أخذها في الاعتبار في التصميم والتشغيل. وإذا كانت التربة في الموقع عالية النفاذية، فمن الممكن أن يكون هناك حاجة لتبطين القناة بأغشية مرنة أو بخرسانة. وكلا النوعين من التبطين يعملان إلى حد بعيد على زيادة تكلفة النظام. ولا يجب أن تكون الميول الجانبية للقناة شديدة الحدة بحيث يحدث الانجراف وبحيث لا يكون بوسع البشر والحيوانات التسلق من الترعة إذا ما دخلوا المجرى المائي. ومن الممكن أن تكون تركيبات التدفق للخارج مطلوبة في المواقع التي تدخل فيها مياه الأمطار إلى القناة. وهناك سمات خاصة لازمة لنظم إمداد القناة لضمان أن القناة لا تتراكب (لا تقل المسافة الحرة لها) إذا توقفت الحركة المستقيمة. وهناك حاجة كذلك لسبل التحكم لإيقاف الحركة المستقيمة إذا انقطعت إمدادات المياه.

إن النظم التي تكون متصلة آلياً بالصمامات الملحقة بالخطوط الرئيسة المدفونة تتطلب اعتبارات خاصة في التصميم. وعندما يتغير تدفق المياه بين عربات الإمداد الصغيرة فمن الممكن أن يحدث طرق مائي في نظام الإمداد. ويعتمد مقدار دفق الضغط على التدفق والزمن المطلوب لفتح وغلق الصمامات. وتعد مشاكل دفقات الضغط هي الأكثر شيوعاً في نظم الحركة المستقيمة الطويلة والتي تتطلب تدفقاً كبيراً. وتعد حماية

خط الأنابيب ضرورية لهذه النظم. ويعد نظام الإمداد لنظم الحركة المستقيمة هذه معقداً جداً ويتم تصميمه عادة من قبل المصنّع.

(١٦,٩) نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (LEPA)

إن نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (LEPA) هي إما نظم الري المحورية أو نظم الحركة المستقيمة التي يتم تعديلها بأنابيب متدلية طويلة ممتدة وأجهزة إضافة مصممة لإضافة كميات ري صغيرة ومتكررة عند أو قريباً من مستوى الأرض للخطوط المنفردة (Lyle and Brodovsky, 1981). ويعد الغرض الأساسي لاستخدام نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة LEPA هو تقليل البخر من قطرات الرش، وأوراق النبات، وأسطح التربة. يتضمن مفهوم LEPA إدارة سطح التربة للعمل على زيادة التخزين السطحي (Lyle and Brodovsky, 1983)، وتستخدم طرق الحرث المختارة و/أو إدارة بقايا المحصول للعمل على زيادة الاستبقاء لكل من مياه الأمطار ومياه الري.

وتعد متطلبات ضغط الفوهة في نظم LEPA منخفضة حيث إن انتشار المياه ليس ضرورياً. ويتم الحصول على قدر كبير من ضاغط الضغط عند الفوهة (الموضوعة قرب مستوى سطح الأرض) عن طريق ضاغط الفرق في الارتفاع بين الخط الفرعي والفوهة. وهذا يؤدي إلى تقليل ضغوط التصميم للخطوط الفرعية وخفض متطلبات الطاقة عند مقارنتها بمجموعات الرشاشات العلوية.

وتقوم نظم LEPA بتصريف المياه أسفل الغطاء النباتي وبالتالي فهي توفر الفرصة للري بمياه رديئة الجودة والتي يمكن أن تتسبب في احتراق الأوراق عند إضافة المياه عبر نظم الري بالرش. وتعد لنظم LEPA ميزتها عند استخدامها مع المحاصيل المعرضة للأمراض الفطرية والتي يمكن أن تزدهر باستخدام البلل المتكرر لأوراق النبات.

(١٦,٩,١) الاعتبارات العامة

هناك العديد من الاعتبارات في تصميم، وتركيب، وإدارة نظم LEPA والتي تكون غير مطلوبة لنظم الري بالرش (Lyle, 1994). وحيث تضاف المياه على شكل

شريط ضيق أو تيار فمن المهم أن يتم وضع أنابيب إسقاط النظام وأجهزة التصرف حتى يكون لكل نبات داخل الحقل فرصة متساوية لتسلم مياه الري. ويتم تحقيق هذا على أفضل نحو إذا تم إضافة المياه إلى الخطوط بين صفوف المحصول. وبالتالي، يُنصح أن يتم تأسيس موضع صف النبات لكل من نظم الحركة المستقيمة ونظم الري المحورية باستخدام مسارات إطار برج النظام كموجه لتأسيس صف المحصول. وهذا المبدأ الإرشادي يؤدي إلى صفوف دائرية للمحاور المركزية وصفوف خطية بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة.

ومن المرغوب فيه بدرجة عالية أن يكون طول الجسر المستخدم في النظام مضاعفاً زوجياً للمسافة بين الصفوف وأيضاً لعرض المعدات للعمل على تسهيل الاتساق في إقامة الصفوف ووضع أنبوب الإسقاط وجهاز الإضافة على امتداد كل جسر. وبالنسبة لإضافة الصفوف المتبادلة، فلابد أن يتم وضع أنابيب الإسقاط وأجهزة الإضافة في الخطوط اللينة أو تلك التي تم ضغطها بالجرار أو بسبب حركة عجلات المعدات بحيث يتم الحفاظ على التسرب. وهذا يتطلب أن يكون موقع عجلة معيار المعدات مرتبطاً بعجلات الجرار بحيث يبقى كل خط آخر بعيداً عن حركة المرور.

وتصمم نظم LEPA بحيث تكون مستقلة بشكل أساسي عن معدلات تسرب التربة. وأفضل ما تتلاءم معه نظم LEPA هي أنواع التربة التي تحافظ على تكاملية بنائية عبر الموسم للحفاظ على تخزين سطحي يتكون عن طريقة تحسين ممارسات الحرث.

إن التضاريس (الميل) هي العامل الأساسي المحدد عند اختيار الري بنظام LEPA، وبالرغم أنه يمكن تعديل سرعة النظام لتتكيف مع حالات يصل فيها الميل حتى ٢٪ بدون توزيع ري سطحي، فإن الميول هذه يجب أن تكون محدودة بقيمة قدرها ١٪ للصفوف الدائرية في الأجواء المناخية التي يوجد معها تساقط الأمطار عالية الشدة لتقليل جريان مياه الأمطار وانجراف التربة المحتمل. وفي جميع الحالات، لابد من استخدام ممارسات عادية لمنع الانجراف الناتج عن جريان مياه الأمطار، مثل وضع

الحواجز (المدرجات) و/أو المجاري المائية المحتوية على عشب، مع نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة LEPA.

(١٦,٩,٢) التخزين السطحي وأجهزة إضافة المياه

إن تأسيس التخزين السطحي المحسن للتربة والعمل على صيانته عبر موسم الري يعد وظيفة كل من طرق الحرث ونوع جهاز الإضافة المختار للري. ولابد أن تحافظ الأدوات المستخدمة على تخزين مياه سطحي موسمي قادر على الاحتفاظ بحجم المياه الكلي لكل حالة ري بدون إعادة توزيع المياه السطحية. وتشمل ممارسات التعديل السطحية الموصى بها حرث الأحواض، وحرث الخزان، والحفر مابين الخطوط أو تحت طبقات التربة، أو أي مزيج من هذه الممارسات مع وجود بقايا قش ساكنة فوق سطح التربة. ويمكن أن تعمل هذه الممارسات بشكل مفيد على زيادة معدل التسرب.

وللتأكد من المحتوى السطحي للري المضاف، فلابد أن يتم تشغيل نظم LEPA بسرعة عالية بشكل كافٍ، وبهذا يكون حجم الإضافة أقل من أو يساوي التخزين السطحي. وفي بعض الحالات ربما يتطلب هذا القيام بالري يومياً.

ويجب أن يتم تقليل التخزين السطحي لأدنى مستوى أثناء استخدام نظام الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن يقوم تصميم وتركيب الفوهة ونظام التنظيم بتقديم أقصى انتظامية في كل حالات التشغيل داخل الحقل وعبر موسم الري. وبشكل مثالي، يجب أن يكون لأجهزة الإضافة المستخدمة مع نظم LEPA قطاع جانبي ضيق لتقليل اتصال المحصول والسحب. ومن المرغوب لأجهزة الإضافة أن تمتلك كذلك مقدرة على الرش بالإضافة إلى تصرف الخط المفرد، بالرغم من أن هذا ليس النمط الأساسي للتشغيل. وتشمل الأمثلة الاحتياجات بالإضافة إلى الرش والاستخدام المؤقت لإنبات البذور، وإضافة مبيدات الحشائش، وعندما تكون المحاصيل مغلقة البذور محتواة في مناويات الزراعة.

وحالياً هناك تصميمان رئيسان لأجهزة الإضافة في نظم LEPA تعمل على تقليل الانجراف لحواجز الخطوط أو غيرها من تعزيز ظروف تخزين التربة (الشكل رقم ١٦,٢).

ويتكون أحدها من فوهة وغطاء يتسبب في أن يتم تصريف المياه كسطح متصل أو فقاعات. ويقوم التصميم الآخر باستخدام جوارب السحب المتنقلة، التي يتم تصميمها لتقليل انجراف حواجز الخطوط عندما يتم تسليم المياه مباشرة إلى سطح التربة.

يعد اختيار الفوهة والتصميم الهيدروليكي مماثلين لما يتم اختيارهما لنظم الري المضغوطة الأخرى، ولكن من المطلوب توخي الحذر حول اكتساب ضاغط الارتفاع وفواقد الاحتكاك في كل أنبوب إسقاط بين الخط الفرعي والفوهة للقيام بشكل دقيق بتحديد الضغط المتاح لجهاز الإضافة.

(١٦,٩,٣) تصميم الأنبوب المتدلي

لابد أن يكون الأنبوب المتدلي طويلاً بدرجة كافية حتى يتم وضع جهاز الإضافة عند القيام بالري من ١٠ إلى ٤٥ سم فوق سطح التربة بناءً على نوع جهاز الإضافة والتضاريس. إن أقطار كل المواد التي تصنع منها أنبوب الإسقاط لابد أن تكون كافية لإمداد ضغط التشغيل الضروري عند نهاية النظام بما لا يزيد عن ٧٠ كيلوبسكالاً. ومن الضروري أن يوجد ضغط قدره ٢١ كيلوبسكال فوق معيار المنظم بشكل طبيعي عند مدخل جهاز التنظيم لأجل التشغيل الصحيح لنظم LEPA. وفي المعتاد تتراوح أقطار أنابيب الإسقاط بين ١٥ و٢٠ مم.

يتم تركيب الأنابيب المتدلية على مخارج خط الأنابيب العلوي عن طريق عمل تجهيزات على الخطوط على شكل أذرع (عبارة عن توصيلات طويلة ممتدة على شكل عنق الأوزة) والتي يبلغ طولها في العادة من ٣٠ إلى ٥٠ سم. وبالرغم من أنه يمكن طلب نظم الري المحورية ونظم الحركة المستقيمة بمنافذ لها مسافات تساوي نفس مسافات الخطوط المرغوبة، إلا أنها لا تكون في الغالب بالمحاذاة المرضية. وبالتالي يتم تدوير ذراع الخط إلى المركز وإسقاطه على الخط. وعند حساب فاقد الاحتكاك بين خط الأنابيب والفوهة، لابد من حساب فواقد المدخل والاحتكاك في ذراع الخط والتجهيزات المرتبطة به وكذلك المكونات العديدة لأنبوب الساقط باستخدام معادلات ملائمة للفاقد في الضاغط.

وهناك خيارات متعددة لمواد إنشاء الأنبوب الساقط وتركيبها، فالجزء الأكبر من الأنبوب الساقط، والذي في المعتاد يكون الجزء العلوي، لابد أن يكون صلباً بدرجة كافية لمنع الحركة الكثيرة عند وجود رياح شديدة أثناء عملية الري السابقة على الزراعة وقبل إقامة المظلة الكاملة. ولابد أن تكون الصلابة كافية لضمان أن يبقى جهاز إضافة نظام LEPA داخل الغطاء النباتي بعد أن يكتمل نموها. ولابد أن تكون الأنابيب الساقطة ذات مرونة كافية لتسمح بالتحرك فوق الحواجز أو متاريس التربة، أو أن تتصادم مع أشياء أخرى بدون انكسار. من الممكن أن يتكون الجزء العلوي الصلب من أنابيب الإسقاط من الصلب المجلفن، وأنابيب كلوريد البولي فينيل المحمية بمادة UV، أو بثق البولي إيثيلين. ومن الممكن كذلك استخدام الصلب المجلفن للجزء السفلي (تقريباً ٧٠سم طولاً) يوضع فوق جهاز الإضافة لأجل الوزن والصلابة للعمل على المساعدة على إبقاء موضع جهاز الإضافة داخل الغطاء النباتي. إن الأوزان الساقطة للصلب المجلفن، والخرسانة، أو المواد المتعددة يمكن كذلك أن تنزلق على مواد خفيفة و/أو مرنة لتكوين الجزء السفلي من الأنابيب الساقطة. ولابد من استخدام جزء صغير (٠,٥ إلى ٠,٦٧ م) من خرطوم أو أنبوبة كلوريد البولي فينيل (PVC) المغطاة بالفينيل المعززة أو غير المعززة للعمل على مزيد من التقارن بين الجزء العلوي الصلب والجزء السفلي لتوفير المرونة اللازمة للإسقاط. وهذا يسمح كذلك بتعديل ارتفاع جهاز الإضافة فوق سطح التربة عن طريق تعديل طول الخرطوم بعد ملء النظام بالمياه.

(١٦,٩,٤) التقييم والأداء

يستخدم معامل الانتظامية لتقييم نظم الري العلوية ولكنه لا يقبل التطبيق مع الإضافة في الخطوط الفردية أو نظم LEPA. وبدلاً منه، لابد من تقييم أداء وتصميم مجموعة الفوهات في نظم LEPA عن طريق انتظامية تصرف الفوهة. وتقوم انتظامية تصرف الفوهة بوصف انتظامية معدل تصرف الفوهة لنظام LEPA التي يتم تحويلها إلى عمق إضافة مكافئ على امتداد طول النظام. ويتم حساب انتظامية تصرف الفوهة

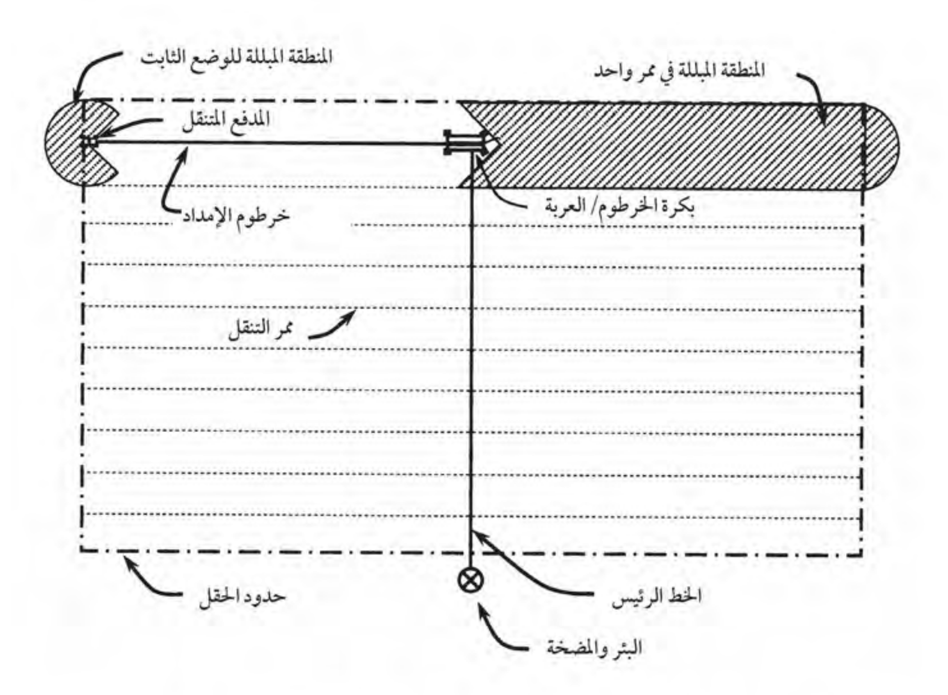
بالنسبة للمحاور باستخدام معادلة هيرمان-هاين وباستخدام معادلة كريستيانسن بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة. ولكن، يتم استبدال عمق المياه المضافة في المعادلة بعمق إضافة مكافئ، والذي يساوي تصرف الفوهة المفردة (مقاساً بوقت التجميع للحجم) مقسوماً على مساحة التغطية لكل فوهة.

ولابد أن يؤدي تصميم مجموعة فوهات نظام LEPA إلى انتظامية تصرف فوهة قدرها ٩٦٪ أو أكبر. والانخفاض المقاس في الانتظامية، حتى ٩٤٪، نتيجة للارتفاع و/أو التغيرات في معدل التدفق في الحقل هو أقل قيمة يُنصح بها. إن تعديل معاملات التصميم (ضغط التشغيل، قطر الأنبوب، استخدام منظم الضغط، ... إلخ) لابد من أخذه في الاعتبار إذا انخفضت الانتظامية لأقل من ٩٤٪ في أجزاء كبيرة من الحقل المروي.

(١٦,١٠) النظام المتنقل

من الطرق الأخرى المستخدمة لجعل الري آلياً وتوفير العمالة هي نظام الري المتنقل، ويتكون النظام المتنقل من رشاش واحد كبير، يُشار إليه عادة باسم "المدفع"، ويتم تركيبه على عربة صغيرة متنقلة (الشكل رقم ١٦,٣٤). ويتم إمداد المياه إلى العربة الخفيفة عن طريق خرطوم. وفي التصاميم الأولى كانت العربة متصلة بنظام كابل ورافعة والذي يكون متصلاً بخطاف. ويقوم الونش، الذي كان يعمل بضغط المياه، بسحب العربة بكابل عبر الحقل. وكثير من التصاميم الحالية تستخدم خرطوم إمداد المياه لسحب العربة عبر الحقل (الشكل رقم ١٦,٣٤). ويتم ربط الخرطوم ببكرة عند إحدى نهايات ممر التنقل. وتقوم البكرة بالدوران مما يعمل على ليّ الخرطوم وسحب العربة نحو البكرة. وسواء كانت البكرة متصلة بكابل أو خرطوم، فإنها يتم تصميمها لتوفير سرعة تنقل ثابتة تقريباً. وهذا يتطلب أن تدور البكرة أسرع عندما يكون قد تم سحب جزء صغير من الكابل أو الخرطوم.





الشكل رقم (١٦,٣٤). صورة ومخطط تشغيلي للنظام المتنقل أو نظام الري بالمدفع الكبير.

ويتم تشغيل نظام التنقل كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,٣٤). يتم وضع العربة الخفيفة عند أحد أطراف الحقل وسحبها إلى المنتصف. ثم يتم بعدها غلق النظام وتتحرك العربة إلى الجانب المضاد من الحقل. وبمجرد أن يتم ري شريحة، ينتقل النظام إلى الممر التالي. وفي بعض الأحيان، يمكن سحب النظام عبر الحقل بأكمله لتجنب إعادة تركيب الخرطوم عند منتصف الحقل. ويقوم المدفع المركب على العربة بتصريف حجم كبير من المياه وإنتاج نصف قطر بلل كبير. وبالتالي، غالباً ما تتباعد ممرات التنقل بمسافة تبلغ حتى ١٠٠ م.

تشمل عيوب أنظمة التنقل التالي:

• متطلبات الضغط العالي: يتطلب نظام التنقل وجود ضغوط أعلى من نظم الري بالرش الأخرى. فالضغط عند العربة يمكن أن يتجاوز ٧٠٠ كيلوبسكال. والفاقد في الضغط في الخرطوم ومكونات إمداد المياه يتم إضافتها إلى متطلب الضغط. وبالتالي، فلنظم الري المتنقلة تكاليف تشغيل عالية.

• العمالة المطلوبة لتحريك العربة: لابد من اعتبار أن النظم المتنقلة شبه آلية حيث إن العربة، والخرطوم، والبكرة لابد من نقلها يدوياً.

• خسارة جزء من الأرض في ممرات التنقل: للعربات بشكل عام حيز منخفض تتحرك فيه، ولهذا إذا كان يتم ري محاصيل طويلة، فلابد من زراعة محاصيل منخفضة في ممرات التنقل.

• عدم انتظامية الإضافة عند حواف ومنتصف الحقل: يتم تشغيل المدفع لري جزء من النمط الدائري (الشكل رقم ١٦,٣٤). وتعتمد زاوية الضبط على تباعد الممرات، وتداخل الممرات المتجاورة للتنقل، وتصميم المدفع. ولكن، من الشائع أن يتطلب دوراناً أكبر من ١٨٠°، كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,٣٤). وإذا لم يكن بوسع النظام المتنقل أن يقوم بإضافة المياه خارج حدود الحقل، فإن هناك قطاعات على امتداد حواف الحقل ربما تتسلم مياهاً أقل من داخله. وربما كذلك أن تنتج سلسلة من

مناطق جافة لها الشكل الماسي قرب منتصف الحقل. وإذا حدث تداخل كبير جداً عند المنتصف ربما تكون هناك مناطق يتم ريها على نحو زائد.

• الانتظامية الضعيفة في وجود ظروف رياح شديدة: حيث إن نظام التنقل يقوم بإلقاء المياه عبر مسافة طويلة، فمن الممكن أن تعمل الرياح على تشويه نمط الإضافة. وللحفاظ على الانتظامية في المواقع التي يكون بها رياح شديدة فلابد أن تكون ممرات التنقل قريبة من بعضها، مما يزيد من متطلبات العمالة ويؤدي إلى أزمنة أطول بين عمليات الري.

• قطرات المياه الكبيرة: غالباً ما تنتج النظم المتنقلة قطرات مياه كبيرة بسرعة عالية مما يؤدي إلى إنتاج كمية كبيرة من الطاقة عندما تصل إلى سطح التربة/المحصول. ويمكن أن تعمل طاقة التصادم على تفاقم الجريان السطحي وانضغاط التربة. وبالتالي، فإن أكثر ما تتلاءم معه النظم المتنقلة هو نظم الزراعة والري التي تقوم بإمداد النبات أو بقاياه بمواد لامتصاص الطاقة الموجودة في قطرات المياه قبل وصولها إلى سطح التربة.

وهناك العديد من المزايا في استخدام النظم المتنقلة وتشمل:

• المرونة: حيث إن الممرات تكون طويلة جداً، فمن الممكن استخدام النظم المتنقلة لري تقريباً أي شكل من أشكال الحقول. ويمكن أن يتم تحريك النظام من حقل لآخر لري كثير من قطع الأراضي. وهذا له جاذبية خاصة في المناطق شبه الرطبة حيث ربما لا يكون النظام ضرورياً بالنسبة لأحد الحقول عبر الموسم بأكمله أو حيث تتطلب مناوبات الزراعة أن يتم تحويل الري من حقل لآخر.

• مدى واسع من أعماق الري: حيث إن الرشاش يتحرك آلياً، فإن عمق المياه المضافة لكل عملية ري يمكن تحديدها بكمية محددة. وإذا كان هناك حاجة لكمية ري صغيرة فمن الممكن ضبط النظام بحيث يتنقل سريعاً عبر الحقل. وبالعكس، بالنسبة للمحاصيل عميقة الجذور يمكن نقل العربة ببطء.

• التركيب في المصنع : يتم تجميع النظام أثناء التصنيع ، وبالتالي يمكن تركيب النظام بشكل سريع في الحقل. وهذا يسمح للنظم المتنقلة أن تكون قابلة للتشغيل بأقل قدر من التجهيز أو الإعداد.

وتستخدم نظم الري المتنقلة غالباً في الأجواء المناخية شبه الجافة وشبه الرطبة حيث تكون الاحتياجات للري ليست كبيرة وثابتة كما في الأراضي الجافة. وتعد النظم أكثر حاجة للاستخدام في المواقع التي يكون فيها حجم وشكل الحقل غير متوافق مع النظام المحوري أو الحركة المستقيمة ، أو حيثما يتم ري حقول عديدة من نفس مصدر المياه. وتتسبب متطلبات الضغط العالية في أن تكون تكاليف تشغيل النظم المتنقلة عالية. والاعتبارات الرئيسة للنظم المتنقلة هي التصميم الهيدروليكي لنظام إمداد المياه وإعداد ممرات التنقل لتتوافق مع حدود الحقل في حين يتم تحقيق انتظاميات مقبولة للإضافة.

ولابد أن يكون المستخدم حذراً جداً حول النظم المتنقلة ، فتعمل النظم المتنقلة عند ضغوط عالية ويتم استخدام كميات كبيرة من الشد المتطور في نظام الخرطوم أو الكابل لتحريك النظام المتنقل. وكل من هذه الحالات تشكل خطراً. ولابد من اتخاذ الحيطة لتجنب إضافة المياه على ممرات الطاقة الكهربية. ويوصي كاي Kay (1983) بأن يتم تحديد موضع ممرات التنقل على بعد ٣٠ م على الأقل من ممرات الطاقة الكهربية.

(١٦,١٠,١) تخطيط الحقل

كما هو الحال مع أي نظام ري ، فإن خطوة التصميم الأولية هي تخطيط حدود الحقل وإعداد النظام وفقاً لأبعاد القطاع الأرضي. وهناك حاجة لبيانات التضاريس لضمان أن يتم تحقيق الانتظامية المرغوبة. وتعد تغيرات الارتفاع الصغيرة أقل أهمية مع النظم المتنقلة بسبب ضغط التشغيل العالي. وللميول تأثير طفيف على

مقدرة نظام التنقل على الحفاظ على السرعة المنتظمة المطلوبة لتحقيق انتظامية مقبولة. وبالتالي، فليست التضاريس داخل الحقل مهمة بدرجة كبيرة لتشغيل النظام المتنقل. فالضغط المطلوب للوصول إلى ارتفاعات عالية في الحقل لابد أن يكون هو الاهتمام الأساسي.

ويعد إعداد ممرات التنقل هو الاعتبار الرئيس عند تخطيط النظام. ويبلغ أقصى طول لخرطوم الإمداد بشكل عام ٢٠٠ م. وإذا كان الحقل أكثر عرضاً من ٢٠٠ م فإن الناقل سوف يتم سحبه إلى جهة المنتصف من الحقل مما يتطلب أن يتم وضع الخط الرئيس في منتصف الحقل. ولابد أن تكون المسافة بين الممرات متساوية عبر الحقل. وكذلك، لابد من جعل الممرات قريبة من بعضها بدرجة كافية لتوفير التداخل اللازم للحصول على انتظامية مقبولة. وتعتمد المسافة بين ممرات التنقل على سرعة الرياح وقطر التغطية الخاص بالرشاش. وأقصى مسافات مرغوبة معطاة في الجدول رقم (١٦,١٢). وربما يكون هناك حاجة للتكرار للحصول على مسافات بين ممرات التنقل التي تقوم بتوفير ري منتظم وفي نفس الوقت تكون ملائمة لأبعاد الحقل. ويُنصح بشكل عام أن تكون ممرات التنقل موجهة عمودياً على اتجاه الرياح السائد. ومن الممكن تحديد موضع ممر التنقل الأول عند منتصف التباعد من حد الحقل إذا كان من الممكن إمداد المياه فيما وراء حافة الحقل. وإلا لابد أن يقع ممر التنقل الأول عند التباعد الكامل عن حد الحقل. ويمكن وضع الرشاش عند حافة الحقل إذا كان من الممكن إمداد المياه فيما وراء حدود الحقل العمودية على ممرات التنقل. وإلا يلزم وضع عربة الرش بحيث تتجنب إلقاء المياه لما وراء حدود الحقل. وإذا كان يتم استخدام ناقلات متعددة في حقل واحد فمن المرغوب أن يتم إمداد المياه إلى منتصف الحقل وأن يتم وضع الناقل عند كل نصف من الحقل. وهذا يعمل على تقليل الفرق في الضغط المتاح لكل رشاش.

الجدول رقم (١٦,١٢). أقصى مسافة بين الممرات في النظم المتنقلة (مقتبس من Addink *et al.*, 1980 و Kay, 1983).

قطر التغطية (W_d)	سرعة الرياح (م/ث)			
	٠	٠ – ٢,٥	٢,٥ – ٥	أكبر من ٥
(م)	(80% W_d)	(70% W_d)	(60% W_d)	(50% W_d)
٥٠	٤٠	٣٥	٣٠	٢٥
٦٠	٤٨	٤٢	٣٦	٣٠
٧٠	٥٦	٤٩	٤٢	٣٥
٨٠	٦٤	٥٦	٤٨	٤٠
٩٠	٧٢	٦٣	٥٤	٤٥
١٠٠	٨٠	٧٠	٦٠	٥٠
١٢٠	٩٦	٨٤	٧٢	٦٠
١٤٠	١١٢	٩٨	٨٤	٧٠
١٦٠	١٢٨	١١٢	٩٦	٨٠
١٨٠	١٤٤	١٢٦	١٠٨	٩٠

(١٦,١٠,٢) التصميم الهيدروليكي

إن التصرف من الرشاش الموجود على العربة يجب أن يساوي التدفق المطلوب للحقل مقسوماً على عدد الناقلات المستخدمة في الحقل. ويمكن تجهيز المدافع المستخدمة على الناقلات إما بفوهات مستدقة أو حلقية. وتقوم الفوهات المستدقة بشكل عام بإنتاج أقطار أكبر للتغطية ولكنها لا توفر تفتيتاً كبيراً لنفث الرشاش للمياه. ويمكن حساب عمق المياه المضافة في كل عملية ري عن طريق:

$$d_g = \frac{q_s}{vW_T} \qquad (١٦,٣٩)$$

حيث إن W_T عرض ممر التنقل (أي، المسافة بين ممرات التنقل) و v السرعة الخطية لعربة الرش.

ويعمل التصرف من الرشاش والمسافات بين ممرات التنقل على تحديد الضغط المطلوب للرشاش. ولابد أن يكون الضغط كبيراً بدرجة كافية لتوفير التصرف وقطر التغطية المطلوبين.

ويتكون الفاقد الكلي في الضغط في النظم المتنقلة من الفاقد في الخط الرئيس، والتجهيزات، وخرطوم الإمداد، والرشاش، وعربات الخرطوم، ويمكن حساب الفاقد في الضغط في الخرطوم من الشكل رقم (١٦,٣٣)، ويزداد قطر الخرطوم المرن بزيادة ضغط النظام، وبالتالي، فإذا كان الضغط مختلفاً عن الموضح في الشكل رقم (١٦,٣٣) فإن الفاقد في الضاغط سوف يتغير تبعاً لهذا. وهناك فقد إضافي داخل الرشاش وعربات بكرات الخراطيم، وتزداد الفواقد عندما يتم لف الخرطوم حول البكرة بدلاً من أن يتم تمديده بالكامل. وقام كل من أوكس وروتشستر Oakes and Rochester (1980)، وروتشستر وآخرين Rochester *et al.* (1990)، وروتشستر وهاسول Rochester and Hackwell (1991)، بعرض طرق لحساب الفاقد بالاحتكاك للأحجام المختلفة من الناقلات (العربات). ويحسب الفاقد في الضاغط في مكونات الناقل من العلاقة:

$$h_1 = kV^2 / 2g \qquad (١٦,٤٠)$$

حيث إن:

h_1 = الفاقد.

k = معامل الفاقد.

$V^2 / 2g$ = ضاغط السرعة.

إن معاملات الفاقد في عربة الرش وعربة بكرة الخرطوم وجد أنها تبلغ ١,٧٦ و٣,٩١، على الترتيب. ولقد تم عرض معامل الفاقد الناتج من الالتفاف على البكرة عن طريق معامل اللي الذي وجد أنه يساوي ٠,٠٩/م. ويتم ضرب معامل اللي في طول الخرطوم الملتف على البكرة. ويختلف معامل الفاقد مع حجم النظام وتصميم المعدات، وبالتالي، لابد من استخدامها كتقديرات أولية.

ويمكن استخدام الأنابيب المتنقلة أو خطوط الأنابيب تحت الأرضية والتي لها رافعات وصمامات للخط الرئيس المستخدم لإمداد المياه إلى الناقل. ويعد الفاقد بالاحتكاك في الخط الرئيس شبيهاً بأي نوع آخر من نظم الري بالرش. وهناك حاجة لعناية خاصة لحماية خطوط الأنابيب من دفقات الضغط مع النظم المتنقلة. وتتطلب الناقلات وجود ضغط تشغيل عال؛ ولهذا فالمضخات المستخدمة لإمداد المياه يتم في العادة تصميمها لضغوط التشغيل العالية. وعندما يتم إمداد أكثر من ناقل واحد من خلال نفس الخط الرئيس أو إذا حدث لي للخرطوم أو عند حدوث عقبة أخرى، فمن الممكن أن يزداد الضغط في نظام النقل بشكل سريع. ولابد من حماية خط الأنابيب لتجنب التلف في ظل هذه الظروف. وفي كثير من الحالات فالأفضل أن يتم اختيار المضخات حيث يكون غلق الضاغط أقل من ضغط المعايرة لنظام الإمداد. ويمكن أيضاً أن يمثل الطرق المائي مشكلة حيث إن الضغط يزداد بسرعة عندما تصل المياه إلى الرشاش. وتساعد مرونة الخرطوم على تقليل بعض من مشكلة دفق الضغط ولكن لابد من تقييم الطرق المائي عند تصميم نظام الإمداد.

(١٦,١٠,٣) الانتظامية

تعتمد انتظامية الإضافة عند استخدام النظم المتنقلة على سرعة ثابتة للتنقل، وتصرف رشاش ثابت ومسافة صحيحة لتوفير تداخل كاف. ويتم تصميم الناقلات الآن بشكل خاص مع سرعات متغيرة للبكرة المستخدمة لسحب عربة الرش، وبهذا لا تكون التغيرات في سرعة التنقل على امتداد ممر التنقل كبيرة. وتعمل خراطيم الإمداد الطويلة على بذل مقاومة كبيرة عندما تمتد بالكامل عند مقارنتها بالحالة التي يلزم فيها فقط تحريك جزء من الخرطوم. ويمكن أن تتسبب المقاومة الزائدة في تغيرات في سرعة التنقل. ولذلك، لابد أن يقوم المصممون بالرجوع إلى المصنعين لمعرفة أقصى طول للخرطوم لأجل القيام بالحسابات المحلية. ويختلف الضغط عند المدخل إلى الرشاش مع مسافة الناقل من عربة الرش، وبالتالي لابد من القيام بالحسابات لكل أطوال متغيرة من الخرطوم المسحوب.

ويمكن تقدير الانتظامية باستخدام خطوة التداخل بالنسبة للرشاش ثابت التنقل. وإن التوزيع منفرد الرجل المستخدم على الناقلات لن يعمل عادة على التوافق مع الوظائف المثلثية والبيضاوية التي تم عرضها، وبالتالي فلابد من تعديل الخطوات للحصول على التوزيع الملائم (Bochester *et al.*, 1989). ويمكن استخدام التداخل للمساعدة في اختيار المسافة بين الممرات. ولابد من استخدام التوزيع أحادي الرجل بالنسبة لظروف الرياح المتوسطة عندما يكون متاحاً. ولكن، من الصعب تقدير انتظامية الحقل الكلية وانتظامية الإضافة بسبب الاختلاف على امتداد حدود الحقل وعند منتصف الحقل.

ولابد أن يقوم القائم بالتشغيل بالتفتيش للتأكد من أن أجهزة الرش تعمل بضغط مناسب. ويؤدي الضغط المنخفض إلى تفتيت غير كاف للقطرات مما يؤدي إلى نمط إضافة مياه له شكل الكعكة المحلاة. ويتسبب الضغط الزائد في تفتيت المياه المتدفقة من الرشاش إلى قطرات صغيرة لا تنتقل إلى مسافة بعيدة كما هو مطلوب وتكون معرضة للبخر والبعثرة.

(١٦,١١) الاستخدامات الإضافية لنظم الري بالرش

يمكن لنظم الري بالرش أداء استخدامات إضافية عديدة، بالإضافة إلى توفير الاحتياجات المائية للمحاصيل. ونظم الري بالرش دائمة التركيب يمكن أن يتم تشغيلها بشكل سريع لتلبية هذه المتطلبات الإضافية. وإذا كان لابد من وضع النظام في الحقل ونقله بشكل دوري فإن المقدرة على أداء الاستخدامات الإضافية تقل.

إن إضافة الدفق والكيماويات الزراعية هما الاستخدامان الشائعان. وحيث إنه يتم تصميم نظام الرش لانتظامية عالية ويعمل خلال فترة النمو السريع للمحاصيل، فإن نظم الري بالرش توفر إمكانيات ممتازة لهذه الأنواع من الإضافات. ومع ذلك، يتم تنظيم هذه الأنواع من الإضافات في معظم الولايات لضمان حماية التربة ومصادر المياه. وبالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة لتصاميم هيدروليكية خاصة للحماية من

التدفق العكسي للكيماويات إلى مصدر المياه. وهناك مناقشة لتفاصيل استخدام نظم الري بالرش في حالة الري الكيميائي بتفصيل أكبر في الفصل التاسع عشر.

ونظراً لارتفاع حرارة الانصهار للجليد، فمن الممكن استخدام نظم الري بالرش للحماية من الصقيع والجليد في بعض التطبيقات. وبشكل عام لابد من إضافة المياه بشكل متكرر للمحاصيل خلال فترات الصقيع أو عند التعرض لخطر الجليد. وقد يتطلب هذا معدل تدفق أعلى للحقل عن المعدل المطلوب لتلبية الاحتياجات المائية للمحاصيل. ويعمل هذا المتطلب على الحد من استخدام تلك النظم التي لا يمكنها القيام بري الحقل بأكمله في وقت قصير جداً. وهناك حاجة لإدارة واعية للغاية لضمان تحقيق أهداف الحماية من الصقيع والجليد. وتعتمد الممارسات الناجحة إلى حد بعيد على مصدر المياه، وسرعات الرياح، والظروف المحلية الأخرى. وينبغي اتباع الخطوط الإرشادية المحلية لتحقيق النجاح. ويجب الحرص على تجنب تلف نظام الري عندما يتم إضافة المياه أثناء فترات البرد. فمن الممكن أن يتكون الثلج على الغشاء الهيكلي من نظام الري ومن الممكن أن يتسبب هذا الوزن الزائد في سقوط مكونات النظام.

وفي بعض المواقع يعد انجراف التربة بسبب الرياح، قبل أن تصبح النباتات كبيرة بدرجة كافية لتغطية سطح التربة، مشكلة كبيرة. ومن الممكن أن يعمل الري أثناء مثل هذه الفترات على زيادة التماسك بين جزيئات التربة، مما يزيد الثبات الكلي ويقلل الانجراف. ويجب اتخاذ الحيطة، مع هذا، لأن تأثير سقوط قطرات المياه يمكن أن يزيح جزيئات التربة ويساهم في زيادة الانجراف بسبب الرياح الزائدة عندما تجف التربة. وغالباً ما يكون الري بكميات صغيرة من المياه كافياً لتثبيت سطح التربة لفترة من الزمن. تعد كفاءة استخدام المياه للتحكم في الانجراف منخفضة. ولا تعمل الإضافة الصغيرة على بلل التربة لعمق كبير جداً مما يؤدي إلى تبخر المياه من سطح التربة مع تخزين قليل جداً للمياه في قطاع التربة الرأسي. وبطرق كثيرة فإن الري للتحكم في الانجراف بسبب الرياح يعد المحاولة الأخيرة، حيث إنه من الأفضل أن يتم التحكم به من خلال إدارة المخلفات وغيرها من ممارسات الإنتاج.

(١٦,١٢) السلامة

إن المنتجين، والتقنيين، والأشخاص الآخرين الذين يعملون حول معدات الري بالرش لابد أن يكونوا حذرين جداً. فغالباً ما تتصل معدات الري بالرش بمولدات كهربية عالية الجهد، لديها أجزاء كثيرة متحركة، وتتطلب ضغوط مياه عالية، وتعمل في بيئة مبللة وزلقة. ويتم استخدام نظم الري بالرش بين الحين والآخر لإضافة الكيماويات التي من الممكن أن تكون سامة. وفي حين أن كثيراً من المقاييس والخطوط الإرشادية التشغيلية قد تطورت بحيث يتيسر القيام بالتصميم، والتركيب، والتشغيل السليم لهذه المعدات، إلا أن كل الأنظمة تتقيد بممارسة محددة. وأي شخص يقوم بتصميم أو تشغيل هذه النظم لابد أن يكون واعياً بالقوانين والقواعد المناسبة والمقاييس الهندسية التي تنطبق على المعدات المستخدمة من والاستخدام المرغوب. وغالبا ما يتم باستمرار تحديث مقاييس ASABE ولابد من استشارتها بشكل روتيني لمعرفة الممارسات السليمة. ولابد من تحديد القواعد والقوانين المحلية قبل تصميم النظام.

(١٦,١٣) الملخص

يصف هذا الفصل أسس الري بالرش، بما في ذلك، الأداء، والانتظامية، وكفاءة التطبيق النظم، وأنواع وخصائص نظم الري بالرش المستخدمة حاليا، وتصميم وإدارة تشغيل لأنواع محددة من نظم الري بالرش، وتوفير البيانات لتحسين تصميم وإدارة نظم الري بالرش والتي تتطور بشكل سريع من يوم لآخر.

قائمة الرموز

A_D الاستنزاف المسموح به

A_E المساحة المروية في ركن النظام المحوري

A_i المساحة المروية

A_R المساحة الممثلة للرشاش على النظام المحوري

C_d معامل التصرف

C_n صافي سعة النظام

d عمق المياه المضافة أو القطر الفعال لقطرات المياه

d_{50} حجم قطر القطرة المتوسط

d_g العمق الكلي المضاف لمياه الري

D_n القطر الداخلي للفوهة

E_a كفاءة الإضافة

E_k طاقة الحركة

F_L طول الحقل

F_W عرض الحقل

H_n ضاغط ضغط الفوهة

I_r معدل التسرب في حالة التربة الجرداء بالنسبة للتربة المحمية

K_e / a طاقة الحركة لكل وحدة مساحة

MAD استنزاف الإدارة المسموح به

n عدد الأوضاع لكل خط فرعي

N عدد الرشاشات على الخط الفرعي

N_d قطر الفوهة

N_L عدد الخطوط الفرعية على امتداد طول الحقل

N_S عدد الخطوط الفرعية على امتداد عرض الحقل

P الضغط في الخط الفرعي أو عند فوهة الرشاش

$P(i)$ معدل إضافة المياه كدالة في الزمن

P_3 النسبة المئوية للقطرات الأصغر من ٣ مم

P_L الفاقد في الضغط من مدخل إلى نهاية الخط الفرعي للنظام المحوري

P_{LL}	الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى للأنبوب كبير القطر
P_{LS}	الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى للأنبوب صغير القطر
P_p	أقصى معدل إضافة عند موقع الرشاش
P_R	الضغط في الخط الفرعي للنظام المحوري عند نقطة R من نقطة المحور
P_S	الضغط عند النهاية القصوى من الخط الفرعي للنظام المحوري
P_v	نسبة القطرات الكلية الأقل من حجم محدد
q_E	التصرف المطلوب للرشاش المدفعي الطرفي
q_S	التصرف من الرشاش
Q_S	التصرف إلى داخل نظام الرش (يساوي سعة النظام الكلية)
R	متوسط معدل الإضافة أو المسافة القطرية من نقطة المحور
R_a	متوسط معدل الإضافة
R_C	الموقع على امتداد الخط الفرعي حيث يتغير قطر الأنبوب
R_D	عمق الجذور خلال فترة أكبر احتياجات مائية
R_E	الطول القطري الكلي المروي عند تشغيل الرشاش المدفعي الطرفي
s	المسافة من نقطة الرصد إلى الرشاش
S_a	محتوى التربة من الرمال
S_i	محتوى التربة من الطين
S_L	المسافة بين الرشاشات على امتداد الخط الفرعي
S_m	المسافة بين الخطوط الفرعية على امتداد الخط الرئيس (يساوي عرض المجموعة)
T	زمن التعرض
TAW	الماء الكلي المتاح لكل وحدة عمق من التربة
T_d	زمن التوقف بين عمليات الري المتعاقبة
T_i	الفترة بين الريات
T_m	الزمن المطلوب لنقل الخط الفرعي بين الأوضاع

T_o	زمن التشغيل لكل عملية ري
t_p	الزمن بعد البلل الأولي الذي يتم الوصول فيه لأقصى معدل إضافة
T_s	الزمن التشغيلي لكل مجموعة على الخط الفرعي
u	المسافة من الرشاش إلى نقطة ما بالنسبة لنصف القطر المبلل للرشاش
U	سرعة الرياح
UC_p	معامل الانتظامية للمحاور المركزية
v	سرعة القطرات أو السرعة الخطية للنظام المتنقل
W_r	نصف قطر التغطية أو نصف قطر البلل للرشاش
W_T	المسافة بين ممرات النظام المتنقل
β	زاوية التشغيل بالنسبة للمحاور المركزية والرشاش المدفعي الطرفي
ρ	كثافة المياه
ω	السرعة الزاويّة للخط الفرعي للمحاور المركزية
Ω	نسبة قطر الفوهة إلى الضغط عند قاعدة الرشاش.

المراجع

Addink, J. W., J. Keller, C. H. Pair, R. E. Sneed, and J. W Wolfe. 1980. Design and operation of sprinkler systems. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 621-660. M. E. Jensen, ed. St. Joseph, Mich. ASAE.

Bezdek, J. C., and K. Solomon. 1983. Upper limit lognormal distribution for drop size data . .J. Irrig. Drain. Eng. 109(1): 72-88.

Bittinger, M. W., and R. A. Longenbaugh. 1962. Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler. Trans. ASAE 5(1): 26-30.

Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Univ Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 670. Chu, S. T., and D. L. Moe. 1972. Hydraulics of a center pivot system. Trans. ASAE 15(5): 894-896.

Cuelho, R. D., D. L. Martin, and F H. Chaudry. 1996. Effect of LEPA irrigation on storage in implanted reservoirs. Trans. ASAE 39(4): 1287-1298.

Dadiao, C., and W W Wallender. 1985. Drop size distribution and water application with low-pressure sprinklers. Trans. ASAE 28(2): 511-514,516.

Dillon, Jr., R. C., E. A. Hiler, and G. Vittetoe. 1972. Center pivot sprinkler design based on intake characteristics. Trans. ASAE 15(5): 996-1001.

Edling, R. J. 1985. Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. Trans. ASAE 28(5): 1543-1550.

Eigel, J. D., and I. D. Moore. 1983. A simplified technique for measuring raindrop size and distribution. Trans. ASAE 26(4): 1079-1084.

Fisher, G. R., and W W Wallender. 1988. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. Trans. ASAE 31 (2): 538-541.

Gilley, J. R. 1984. Suitability of reduced pressure center pivots. J. Irrig. Drain. Eng. 110 (1): 22-34.

Hachum, A. Y., and J. F Alfara. 1980. Rain infiltration into layered soils: Prediction. J.Irrig. Drain. Eng. 106(4): 311-319.

Han, S., R. G. Evans, and M. W. Kroeger. 1994. Sprinkler distribution. patterns in windy conditions. Trans. ASAE 37(5): 1481-1489.

Hanson, B. R., and W W. Wallender. 1986. Bidirectional uniformity of water applied by continuous-move sprinkler machines. Trans. ASAE 29(4): 1047-1053.

Heermann, D. F., and P R. Hein. 1968. Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system. Trans. ASAE 11(1): 11-15.

Heermann, D. F., and R. A. Kohl. 1980. Fluid dynamics of sprinkler systems. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 583-618. M. E. Jensen, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Heermann, D. F., H. H. Shull, and R. H. Mickelson. 1974. Center pivot design capacities in eastern Colorado. J.Irrig. Drain. Eng. 110(2): 1127-141.

Heermann, D. F., and K. M. Stahl. 2006. CPED: Center Pivot Evaluation and Design. Available at: www.ars.usda.gov/ Services/ docs.htm?docid =8118.

Howell, T. A., K. S. Copeland, A. D. Schneider, and D. A. Dusek. 1989. Sprinkler irrigation management for com-southern Great Plains. Trans. ASAE 31(2): 147-160.

Kay, M. 1983. Sprinkler Irrigation Equipment and Practice. London, UK: Batsford Academic and Educational Ltd.

Keller, J., and R. D. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.

Keller, J., F. Corey, W. R. Walker, and M. E. Vavra. 1980. Evaluation of irrigation systems. In Irrigation: Challenges of the 80's. Proc. Second Nat'l Irrigation Symp., 95-105. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Kincaid, D. C. 1982. Sprinkler pattern radius. Trans. ASAE 25(6): 1668-1672.

Kincaid, D. C. 1996. Spraydrop kinetic energy from irrigation sprinklers. Trans. ASAE 39(3): 847-853.

Kincaid, D. C., and D. H. Heermann. 1970. Pressure distribution on a center pivot sprinkler irrigation system. Trans. ASAE 13(5): 556-558.

Kincaid, D. C., D. F Heermann, and E. G. Kruse. 1969. Application rates and runoff in center pivot sprinkler irrigation. Trans. ASAE 12(6): 790-794.

Kincaid, D. C., and T. S. Longley. 1989. A water droplet evaporation and temperature model. Trans. ASAE 32(2): 457-463.

Kincaid, D. C., K. H. Solomon, and J. C. Oliphant. 1996. Drop size distributions for irrigation sprinklers. Trans. ASAE 39(3): 839-845.

Kohl, R. A. 1972. Sprinkler precipitation gage errors. Trans. ASAE 15(2): 264-265, 271.

Kohl, R. A., and D. W DeBoer, 1984. Drop size distributions for a low pressure spray type agricultural sprinkler. Trans. ASAE 27(6): 1836-1840.

Kohl, K. D., R. A. Kohl, and D. W. DeBoer. 1987. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. Trans. ASAE 30(4): 1071-1074.

Kohl, R. A., R. D. von Bemuth, and G. Heubner. 1985. Drop size distribution measurement problems using a laser unit. Trans. ASAE 28(1): 190-192.

Kranz, W- L., and D. E. Eisenhauer. 1990. Sprinkler irrigation runoff and erosion control using inter-row tillage techniques. Applied Eng. Agric. 6(6): 739-744.

Levine, G. 1952. Effects of irrigation droplet size on infiltration and aggregate breakdown. Agric. Eng. 33(9): 559-560.

Li, J., H. Kawano, and K. Yu. 1994. Droplet size distributions from different shaped sprinkler nozzles. Trans. ASAE 37(6): 1871-1878.

Lundstrom, D. R., and E. C. Stegman. 1988. Irrigation scheduling by the checkbook method. Extension Circular No. AE-792. Fargo, N.D.: North Dakota State Extension Service.

Lyle, W. M. 1994. LEPA defined: More control with less consumption. Irrig. J. 44(6): 8,11.

Lyle, W M., and J. P Bordovsky. 1981. Low energy precision application (LEPA) irrigation system. Trans. ASAE 24(5): 1241-1245.

Lyle, W M., and J. P. Bordovsky. 1983. LEPA irrigation system evaluation. Trans. ASAE 26(3): 776-781.

Martin, D. L. 1991. Effect of frequency on center pivot irrigation. In Proc. Nat'l Conf Irrigation and Drainage, 38-44. ASCE.

Moldenhauer, W C., and W D. Kemper. 1969. Interdependence of water drop energy and clod size on infiltration and clod stability. Soil Sci. Soc. America Proc. 33: 297-301.

Morgan, R. M. 1993. Water and the Land: A History of American Irrigation. Washington, D.C.: The Irrigation Association.

Nderitu, S. M., and D. J. Hills. 1993. Sprinkler uniformity as affected by riser characteristics. Applied Eng. Agric. 9(6): 515-521.

Oakes, P L., and E. W. Rochester. 1980. Energy utilization of hose towed traveler irrigators. Trans. ASAE 23(5): 1131-1138.
Oliveira, C. A. S., R. J. Hanks, and U. Shani. 1987. Infiltration and runoff as affected by pitting, mulching and sprinkler irrigation. Irrig. Sci. 8: 49-64.
Pair, C. H., W. H. Hing, K. R. Frost, R. E. Sneed, and T. J. Schiltz. 1983. Irrigation. 5th ed. Washington, D.C.: The Irrigation Association.
Rochester, E. W., C. A. Flood, Jr., and S. G. Hackwell. 1990. Pressure losses from hose coiling on hard-hose travelers. Trans. ASAE 33(3): 834-838.
Rochester, E. W., S. G. Hackwell, and K. H. Yoo. 1989. Pressure vs. flow control in traveler irrigation evaluation. Trans. ASAE 32(6): 2029-2034.
Rochester, E. W., and S. G. Hackwell. 1991. Power and energy requirements of small hard-hose travelers. Applied Eng. Agric. 7(5): 551-556.
Scaloppi, E. J., and R. G. Allen. 1993. Hydraulics of center pivot laterals. J. Irrig. Drain. Eng. 119(3): 554-567.
Seginer, I. 1965. Tangential velocity of sprinkler drops. Trans. ASAE 8(1): 90-93. Seginer, I., D. Kantz, and D. Nir. 1991a. The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers. Agric, Water Mgmt. 19: 341-359.
Seginer, I., D. Nir, and R. D. von Bemuth. 1991b. Simulation of wind-distorted sprinkler patterns. J. Irrig. Drain. Eng. 117(2): 285-306.
Solomon, K., and J. C. Bezdek. 1980. Characterizing sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm. Trans. ASAE 23(4): 899-906.
Solomon, K., and M. Kodama. 1978. Center pivot end sprinkler pattern analysis and selection. Trans. ASAE 21(5): 706-712.
Steiner, J. L., E. T. Kanemasu, and R. N. Clark. 1983. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. Trans. ASAE 26(4): 1128-1134.
Stillmunkes, R. T., and L. G. James. 1982. Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. Trans. ASAE 25(1): 130-133.
Thompson, A. L., J. R. Gilley, and J. M. Norman. 1993. A sprinkler water droplet evaporation and plant canopy model: I. Model development. Trans. ASAE 36(3): 735-741.
USDA-NASS (U.S. Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service). 2003. Farm and Ranch Irrigation Survey and the 2002 Census of Agriculture. National Agricultural Statistics Service (NASS), Agricultural Statistics Board, USDA.
von Bernuth, R. D. 1983. Nozzling considerations for center pivots with end guns. Trans. ASAE 26(2): 419-422.
von Bernuth, R. D., and J. R. Gilley. 1985. Evaluation of center pivot application packages considering droplet induced infiltration reduction. Trans. ASAE 28(6): 1940-1946.

von Berriuth, R. D., D. L. Martin, J. R. Gilley, and D. G. Watts. 1984. Irrigation system capacities for com production in Nebraska. Trans. ASAE 27(2): 419-424,428.

Vories, E. D., and R. D. von Bernuth. 1986. Single nozzle sprinkler performance in wind. Trans. ASAE 28(6): 1940-1946.

Wilmes, G. J., D. L. Martin, and R. J. Supalla. 1993. Decision support system for design of center pivots. Trans. ASAE 37(1): 165-175.

الفصل السابع عشر

نظم الري الدقيق

روبرت ج. إيفانز (وحدة خدمة البحوث الزراعية - وزارة الزراعة الأمريكية – مدينة سيدني ولاية مونتانا)
ل-باي واي (جامعة هاواي – مدينة هونولولو – ولاية هاواي)
إلين ج. سماجسترال (جامعة فلوريدا – مدينة جينسفيل – ولاية فلوريدا)

ملخص: الري الدقيق هو التطبيق البطيء لمعدل المياه على مواقع متفرقة بضغوط منخفضة وهو يشمل التنقيط أو التنقيط السطحي، والتنقيط تحت السطحي، والرشاشات الصغيرة، والنبعي (النابعات)، وقد حقق أسلوب الري الدقيق وثبات هائلة خلال العقود الثلاثة المنصرمة، حتى صار هو النظام القياسي لممارسات الري الفعالة في المحافظة على الماء وتحقيق الاستجابات المثلى للنبات. والري الدقيق ليس إلا مجموعة مرنة للغاية من التقنيات التي يمكن تطبيقها بصورة اقتصادية على كافة المحاصيل وأنواع التربة ومختلف المناطق المناخية، إلا أن الري الدقيق مع ذلك يتطلب مستوى متقدماً من الإدارة أو التحكم، وتلك النظم مع تجهيزاتها ومكوناتها الفريدة من نوعها جميعا تتصف بأنها ذات احتياجات ومشكلات تخصصية الطابع. وهذا الفصل يتناول بالنقاش الكثير من مميزات وعيوب مختلف تقنيات الري الدقيق وتطبيقاتها على كل من المحاصيل البستانية والمحاصيل الحقلية. وسوف يتم بالتفصيل معالجة مسائل جودة المياه والتنقية والإدارة.

الكلمات الأساسية: النابعات، التصميم، التنقيط، الري، الإدارة، الرشاشات الصغيرة، التنقيط.

(١٧,١) مقدمة

إن تطور التقنيات الحديثة للري بالتنقيط في ستينيات القرن العشرين قد ميز خطوة بارزة في تاريخ علم وتقنية الري. فقد كانت المحاولات الأولى مثقلة بالمشكلات، ولكن على كل الأحوال، تم التغلب على معظم هذه المشكلات، كما أن كافة جوانب موضوع الري الدقيق تقريباً قد بلغت قدراً كبيراً من النضج منذ ذلك الحين، ولا سيما في مجالات التنقية، ومعالجة المياه، وتقنية التنقيط. ودراسة باكس Bucks (1995) توفر لأولئك الذين قد يرغبون في المزيد من المعلومات ملخصا ثرياً وموجزاً عن تاريخ تقنية الري.

والري الدقيق يشمل أى طريقة ري موضعية تقوم بشكل بطيء ومتواتر بإمداد الماء مباشرة إلى حيز جذور النبات. ويندرج تحت هذا المصطلح العام كل من الري بالتنقيط، والري بالنضّ، والنابعات، والرشاشات الصغيرة المحصورة موضعياً، والمحاور الدوّارة الصغيرة، والرذاذات الدقيقة والتي تتسم جميعها بمعدل بطيء لإضافة الماء على مواضع متفرقة بضغوط منخفضة، وكذا القيام بري جزء واحد فقط من حجم تربة الحقل هما أمران يمكن أن ينتج عنهما نظم توزيع مياه رخيصة التكلفة نسبياً، وبالإضافة إلى تقليل انجراف المياه بعيدا عن هدفها، مقارنة بنظم الري الأخرى.

والري الدقيق يطرح إمكانية توفير مستوى متقدم ودقيق من التحكم، فهو ليس إلا طريقة ري مرنة للغاية. وطريقة الري الدقيق يمكن تطبيقها على أي محصول زراعي وفي أي نطاق مناخي. وطريقة الري الدقيق يمكن استخدامها عبر نطاق واسع من الظروف التضاريسية، ومن ثم فهي قد سمحت باتساع رقعة إنتاج محاصيل الري في مناطق ذات تربة تتسم بوجود مشكلات فيها (من قبيل إما معدلات التسرب المنخفضة جداً أو العالية جداً) وذات مياه رديئة الجودة والتي لا يمكن استخدامها مع طرق الري الأخرى، والري الدقيق يمكن استخدامه كنظام توزيع للماء يكون إما سطحياً أو تحت سطحي.

والري الدقيق يمكن استخدامه مع معظم المحاصيل الزراعية، على الرغم من أنه غالباً ما يتم استخدامه مع المحاصيل المميزة عالية القيمة مثل الخضروات ونباتات الزينة

والكروم وأنواع التوت، والزيتون، والأفوكاتو، والجوز، ومحاصيل الفاكهة، ونباتات البيوت المحمية، وفي الكثير من الحالات، يمكن استخدام طريقة الري الدقيق بشكل اقتصادي مع المحاصيل الحقلية، ومسطحات الجولف الخضراء، والممرات الخضراء المحيطة بها، والقطن وقصب السكر. وعلى كل الأحوال، نجد أن متطلبات التصميمات الملائمة والتحكم الملائم في المناطق الرطبة يمكن أن تختلف بشكل كبير عن نظيرتها في المناطق الجافة، وأن التقنية وأساليب العمل الملائمة في منطقة من المناطق قد لا تصلح في منطقة أخرى، ومن ثم فطريقة الري الدقيق لن تكون هي طريقة الري الأكثر ملاءمة أو الأكثر اقتصاداً في كل الأحوال.

واستخدام الري الدقيق يتزايد بشكل متسارع حول العالم، ومن المتوقع لهذا الاستخدام أن يستمر ليصبح الري الدقيق طريقة ري فعالة في الإنتاج الزراعي في المستقبل المنظور، ومع المطالب المتزايدة على المصادر المائية المحدودة، ومع الحاجة إلى تقليل العواقب البيئية لعملية الري إلى الحد الأدنى لها، فلاشك في أن طريقة الري الدقيق ستلعب دورا أكثر أهمية في المستقبل. فطريقة الري الدقيق (أو المُقنَّن) توفر العديد من المنافع الفريدة من نوعها سواء من المنافع الزراعية، أو منافع المحافظة على كل من الماء والطاقة، وتلك المنافع التي تعالج الكثير من التحديات التي تواجه الزراعة بالري. فالمزارعون وغيرهم من مستخدمي طريقة الري الدقيق هم في حالة بحث دائم عن تطبيقات جديدة، مثل إعادة استخدام مياه الصرف، وهو ما سيظل يطرح تحديات جديدة أمام القائمين على المصممين ومديري الري.

فأي نظام للري لابد أن يكون متوافقاً مع عمليات زراعة التربة المرتبطة بمحصول معين. وتبني العمل بطريقة الري الدقيق قد يتطلب إدخال تعديلات جديدة أو مبتكرة على مختلف الممارسات الزراعية، بل وحتى على أي تطوير لحصاد جديد أو لمعدات زراعة جديدة. وعلى سبيل المثال، الخطوط الفرعية السطحية يمكن أن تعيق عمليات الحصاد التقليدية، مما يستلزم عملية إزالة لشبكة الأنابيب قبل الحصاد، أو يستلزم تطوير آلة حاصدة جديدة، وأساليب حصاد جديدة. فالخطوط الفرعية يمكن أن

يتم دفنها لكن ذلك بشكل عام يتطلب التحول إلى استخدام الحدّ الأدنى من حرث التربة أو إلى استخدام نظم جور البذور الدائمة.

والأمر يتطلب فهما عميقا لأوجه المنفعة والقصور الفريدة من نوعها لنظم الري الدقيق من أجل تصميم وإدارة هذه النظم بشكل ناجح. وكما هو الحال مع طرق الري الأخرى، هناك توازنات بين كل من التأثيرات الإيجابية والتأثيرات السلبية على كل من جدولة الري وكفاءته، وانتظامه، بالإضافة إلى التأثيرات البيئية، واستجابات المحاصيل، والاعتبارات الاقتصادية.

(١٧,١,١) مزايا وعيوب الري الدقيق

إن الري الدقيق له مزايا كما أن له عيوباً لابد من فهمها وأخذها في الاعتبار قبل تبني العمل بهذه التقنية، فأما المزايا فتشمل المحافظة على الماء وخفض التأثيرات الضارة بالصحة لنوعية الماء نتيجة لكفاءات التطبيق العالية، وقابليات الآلية، وتحسين أو زيادة إنتاجية المحاصيل، وتيسير التطبيقات الكيميائية، وإمكانية استمرار العمل بهذه التقنية. وأما العيوب فتتضمن إمكانية عالية لانسداد المنقطات، وارتفاع تكلفة النظام، والاحتياج إلى مستويات متقدمة من التحكم.

(١٧,١,١,١) المزايا

يتم استخدام طريقة الري الدقيق بشكل شائع في المناطق محدودة المياه، وذات التكلفة المرتفعة للمياه، ولكن لطريقة الري الدقيق تلك قيمة كبيرة في مناطق أخرى أيضاً. فنظم الري الدقيق التي يتم بشكل ملائم تصميمها وتركيبها وإدارتها، يمكن لها أن تقضى على عملية الجريان السطحي، وما يرتبط بها من انجراف للتربة، كما يمكن لها أن تعمل على توزيع الأسمدة القابلة للذوبان في الماء بكفاءة وانتظامية، مع تحقيق انتظامية عالية وكفاءة لعملية توزيع الماء. ونظم الري الدقيق تميل بشكل عام لأن تحظى بمناطق بلل أصغر مساحةً، وتسربٌ عميق أكثر انخفاضاً، وفقد بالبخر أقل مما في طرق الري الأخرى. ويمكن أن يكون هناك اقتصاد في كل من الماء والمواد الكيماوية بسبب

زيادة الكفاءة، وانخفاض تكاليف مكافحة الحشائش الضارة كنتيجة لأن منطقة سطحية محدودة هي فقط التي يتم تبليلها بالماء، كما يمكن تحقيق إنتاجية أفضل بسبب تحسين السيطرة على الماء والعناصر الغذائية في البيئة المحيطة بجذور النبات.

وطريقة الري الدقيق بشكل عام لها كفاءات إنتاج عالية سواء تم التعبير عنها بالإنتاجية لكل وحدة ماء، أو بالإنتاجية لكل وحدة مدخل غذائي، أو بالإنتاجية لكل وحدة مساحة من الأرض، كما أن عملية الري بالتنقيط قد سهلت من الممارسات الزراعية المتقدمة مثل استخدام أغطية المهاد البلاستيكية أو الورقية لتقليل نمو الحشائش، ولتدفئة التربة، ولتقليل عملية البخر من التربة. ونتيجة للحجوم الصغيرة نسبيا لكل من الأنابيب والصمامات، تتم أتمتة (أتوماتيكية) نظم الري الدقيق بشكل يسير ورخيص، وهو ما يقلل تكلفة التشغيل ويعمل على تحسين مرونة الإدارة بشكل عام.

ولأن طرق الري الدقيق تستطيع إضافة الماء بمقادير صغيرة تعادل تقريباً مقدار الماء المفقود في البخر-نتح، نجد أن خصائص التربة مثل معامل التوصيل الهيدروليكي والقدرة على تخزين الماء، عادة لا تكون من عوامل القصور، وقليل من الملح قد يتم إضافته مع ماء الري؛ لأن مع مثل هذه النظم عالية الكفاءة لا تدعو الحاجة إلا لاستخدام القليل من الماء. وانخفاض قيم الشدّ السطحي للتربة يقلل من أخطار الملوحة، ويعمل على تحسين القدرة على إدراة الأراضي ذات التربة الملحية أو المشبعة بكربونات الصوديوم، ويسمح باستخدام مياه أقل جودة من تلك التي يتم استخدامها مع طرق الري الأخرى. ولكونها عالية الكفاءة، نجد أن طريقة الري الدقيق غالباً ما يتم تمييزها على أنها من أفضل ممارسات الإدارة لخفض تلوث المياه الجوفية الناتجة عن الري.

والقدرة بدقة على إدارة نقص ماء التربة، والقدرة على وضع كميات علاجية من العناصر الغذائية وغيرها من المواد الكيماوية الأخرى خلال نظام الري، غالباً ما تؤدي إلى زيادة الإنتاجية. وبوجه عام، أوضحت عدد من الدراسات بشكل دائم

وجود زيادات في نمو النباتات وإنتاجية المحصول مقارنة بأساليب الري الأكثر تقليلدية، كدالة متناسبة مع كل من الجدولة والإدارة. وكما أن المحاصيل الحولية قد تشهد هي الأخرى نموا أكثر تعجلا، وإثمارا أكثر تبكيراً في ظل تطبيق تقنية الري الدقيق لأن إجهاد الماء والعناصر المغذية على النباتات اليافعة ذات نطاقات الجذور الصغيرة، قد يتم خفضها بشكل كبير. كما أن التماثل في نمو النبات عبر الحقل الواحد كنتيجة للانتظامية في نسب توزيع الماء والعناصر المغذية، يسهم كذلك في الزيادات الكلية لإنتاجية المحصول.

والري الدقيق يجب أن يُدار كنظام إضافة الماء والعناصر الغذائية في نفس الوقت. فكل من المخصبات وغيرها من المواد الكيماوية القابلة للذوبان في الماء مثل مبيدات الآفات (مثل مبيدات الديدان الخيطية، والمبيدات الحشرية الشاملة، ومبيدات الحشائش)، ومحسّنات التربة (مثل الأحماض، والبوليمرات، ومسحوق الجبس)، من الممكن توزيعها بشكل كفء وفعال من خلال نظم الري الدقيق. ونظم الري بالتنقيط المدفونة تكون ملائمة لتوزيع مركبات تطهير التربة بالتبخير، بالإضافة إلى المواد الكيماوية الأخرى التي تميل لأن تثبتها جزيئات التربة (مثل بعض مبيدات الآفات، والمخصبات الفسفورية).

ونظم الري الدقيق، إذا ما تم تصميمها وإدارتها بشكل جيد، يمكنها أن تقلل من التأثيرات الخارجية لعملية الري على بيئة الحياة البرية وعلى النظم البيئية المائية، مقارنة بطرق الري الأخرى. وغالباً ما يتم تقليل استخدام مبيدات بسبب زيادة كفاءة المبيدات الحشرية الشاملة. وفي المناطق الجافة، تكون عادةً تكلفة مبيدات الحشائش أقل؛ لأن جزءًا صغيراً فقط من المنطقة هو الذي يبلل بالماء، ومن ثم يقل نمو الحشائش، ولأن غطاء التربة والنبات يكون بوجه عام أكثر جفافاً، وغالباً ما يكون ضغط الأمراض الفطرية منخفضاً، ويكون استخدام المبيدات الفطرية بشكل عام أقل (Scherm and van Bruggen 1995). الأفلام البلاستيكية (القابلة وغير القابلة للتفسخ

الحيوي)، والصحائف الورقية كبيرة الحجم، وغيرها من أغطية المهاد غالباً ما تعمل بصورة جيدة جداً عند زراعة المحاصيل المروية بالتنقيط لمكافحة الحشائش (وللحد من استخدام مبيدات الحشائش)، ولتقليل فواقد البخر من التربة.

ويمكن لنظم الري الدقيق أن تعمل على تحسين الاستمرارية طويلة الأمد لإحدى العمليات الزراعية بسبب قدرتها على البلوغ بكفاءات تطبيق الماء حدودها القصوى مع تقليل التطبيقات الكيميائية إلى حدها الأدنى. ويمكن بصورة أكثر كفاءة استغلال المصادر المائية المحدودة (في الجودة أو الكمية) في الإنتاج الزراعي، وبالتالي توفير المزيد من الماء من أجل الاستخدامات التنافسية، أو خفض حالات سحب المياه من الطبقات الجوفية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن طرق الري الدقيق هي نظم منخفضة الضغط، تستخدم بشكل نمطي طاقة إجمالية أقل بالمقارنة بالرشاشات.

(١٧,١,١,٢) العيوب

نتيجة لصغر أحجام فوهاتها نسبياً، يمكن لمنقطات الري الدقيق أن تنسدّ بسهولة بسبب العوامل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، والانسداد يؤثر على الانتظامية بشكل سلبي، ويمكن له أن يلغي فوائد وفعاليات طريقة الري الدقيق.

ونظم الري الدقيق هي بوجه عام غالية التكلفة عند التركيب والصيانة ولكنها مشابهة في التكلفة لأغلب طرق الري المتطورة الأخرى. وبالنسبة للنظم الأكبر (تساوي أو أكبر من ١٠ هكتارات) ذات المسافات المتقاربة بين النباتات، نجد أن تكلفتها تضاهي تكلفة نظم الرش الثابتة الدائمة التي تغطي نفس المساحة على الرغم من أن نظم الترشيح والمعالجة الكيميائية هي أوجه إنفاق رئيسة يمكن لها أن تتباين على نطاق واسع اعتماداً على الظروف وحجم النظام. والنباتات العالية الكثافة والتي تتطلب كميات كبيرة من الأنابيب قد لا تكون اقتصادية، فكلفة التشغيل ستكون مرتفعة بسبب الحاجة إلى كل من المعالجة الكيميائية، والتنقية، والأيدي العاملة من أجل الغسيل الروتيني لخطوط الأنابيب، على الرغم من أن التكاليف المنخفضة للطاقة وتوفير المياه يمكن أن

توازن بعضاً من هذه الزيادة. وكذلك يمكن أن تكون هناك تكاليف كبيرة مرتبطة باسترجاع والتخلص من أشرطة الري وأنابيب الري، وأغطية المهاد البلاستيكية غير القابلة للتحلل الحيوي للجراثيم.

ولابد من توافر مستوى عال من الإدارة لتشغيل وصيانة نظم الري الدقيق. فمدير النظام (أو القائمون على التحكم بالنظام) يُشترط فيهم مستوى أكبر من التدريب والكفاءة عن القائمين على التحكم بنظم الري السطحي أو الري بالرشاش. فهم يتقاضون رواتب أعلى وعادة ما يتم توظيفهم طوال العام، بسبب الحاجة إلى الإبقاء والاحتفاظ بمهاراتهم، وعلى كل الأحوال، فإن بمقدورهم تغطية ما بين ثلاثة إلى اربعة أمثال المنطقة المزروعة التي قد يغطيها القائم على الري باستخدام طرق الري التقليدية، وذلك بسبب عملية الأتمتة في المقام الأول. وكما أن المستوى المتقدم من الإدارة، يتطلب تبني العمل بالتقنيات المساعدة (مع ما يرتبط بها من تكاليف)، مثل جدولة الري، ومراقبة ماء التربة، وإجراء تحليل تفصيلي من آن لآخر حول تغذية أنسجة النبات، من أجل برامج عملية الرسمدة (التسميد أثناء الري).

وكقاعدة عامة، فإن نظم الري الدقيق تتصف بكونها أقل تهاوناً مع الأخطاء في الإدارة أو مع رداءة التصميم مقارنة بنظم الري الأخرى التي تروي نطاقاً أوسع بكثير من حيز جذور النبات. وتتراوح هذه المشكلات ما بين الإفراط في الري وترشيح المواد الكيماوية، وصولاً إلى الجفاف الحاد، أو الملوحة، أو ضغوط العناصر الغذائية.

ونسب التوزيع غير المتماثلة لكل من الماء والعناصر الغذائية والجذور على امتداد الحقل يمكن أن تتسبب في مشكلات لا تظهر إلا في حالة الري الدقيق. أما النطاق المحدود من التربة المبللة بالماء فقد يؤثر على اتساع نظام جذور النبات، وعلى الثبات الفيزيائي للنبتة. وكما أن حجوم الجذور الأصغر تعمل على تقليل مقدار ماء التربة المتاح لحماية النبات ضد الجفاف في حالة إخفاق نظام الري. وبالإضافة إلى ذلك، نجد أن النطاقات المحدودة من التربة المبللة بالماء تزيد من صعوبة الإبقاء على حالة

تغذية متوازنة للتربة لأن إمكانية الوصول إلى العناصر الغذائية المخزونة في مواضع التربة المجاورة غير المروية، هي إمكانية محدودة.

إن مشاكل الآفات الزراعية قد تتغير لأن الري المتواتر يؤدي إلى خلق ظروف بيئية وحالات رطوبة تكون مواتية لظهور الأمراض الفطرية أو الآفات الزراعية، والتي قد لا تمثل مشكلة في ظل تطبيق تقنيات الري الأخرى (مثل قمل النبات، والذي يفضل الظروف الجافة للتربة). وعمليات الري المتواترة يمكن أن تتسبب كذلك في خلق ظروف مثلى مواتية لبعض أمراض النبات والتي تتطلب تحكماً خاصاً (مثل التطهير بالتبخير، قبل و/أو بعد موسم النمو لتقليل العدوى).

أما أنابيب الري الدقيق المصنعة من البولي إيثيلين فيمكن أن تتضرر فيزيائياً بواسطة عدد من الأسباب الميكانيكية والطبيعية. فالتلفيات الناشئة عن المعدات الزراعية شائعة الحدوث، كما أن كلا من ذئاب البراري، والقوارض وغيرها من الحيوانات، يمكن أن تتسبب في إتلاف أنابيب الري، ولا سيما حين تكون بصدد البحث عن الماء في المناطق الجافة، وأما سناجب الجوفر وغيرها من القوارض، فتتسبب في تمزيق الأنابيب المدفونة بينما هي بصدد الحفر لبناء جحور. وأما طيور نقار الخشب فقد لوحظ أنها تنقر ثقوباً في الأنابيب. وأما الحشرات والعناكب فيمكن لها أن تتسبب في انسداد المنقطات، ولكنها أيضاً تتسبب في توسيع الفوهات عندما تكون بصدد البحث عن الماء. أما الحشائش الطويلة، والحشائش، وخيوط العناكب، والحشرات الكبيرة الحجم، فيمكن لها أن تتسبب في إيقاف الحركة الدوّارة للمرشات الدقيقة.

(١٧,١,٢) التربة، وكمية الماء، واعتبارات نوعية الماء

(١٧,١,٢,١) التربة

يجب أن يتم تصميم وإدارة نظام الري الدقيق ليتوافق مع أنواع التربة التي يتم استخدامه عليها، فالتربة الرملية العميقة غالباً ما يكون لها انتشار جانبي للماء قليل مما يتطلب العديد من الريات الصغيرة كل يوم و/أو استخدام الرشاشات الصغيرة لتوسيع

حجوم الجذور المبللة بالماء. فالجدولة غير الملائمة، نتيجة لرداءة تصميم أو إدارة نظام الري، يمكن أن تتسبب في حدوث تسرب عميق للماء مع حدوث استنزاف لعناصر التغذية. فعندما تتجاوز معدلات الإضافة القدرة على التسرب، نجد أن التربة تصبح مشبعة، وربما تظهر الحشائش وغيرها من المشكلات نتيجة اتساع رقعة المناطق المروية، بل ربما تحدث عملية الجريان السطحي. وبالإضافة إلى اعتبارات التلوث البيئي، يمكن لتغدق التربة بالماء أن يتسبب في زيادة أمراض النبات ويحفز ظهور اضطرابات فسيولوجية في النباتات.

أما ملوحة التربة فسوف تؤثر على كل من تصميم وإدارة نظام الري لأن الأملاح تتراكم عند حواف المناطق الرطبة وعلى سطح التربة، والعجز في الري يمكن أن يؤدي لظهور مستويات مفرطة من الأملاح في طبقات التربة، وهذه الأملاح تحتاج لأن يتم غسلها بشكل دوري، وهو ما يمكن أن يتعقد عند ظهور مسارات تدفق تفضيلية. كما أن استخدام أغطية المهاد من الطبقات الفيلمية البلاستيكية، والتي تعمل على تقليل البخر من التربة، وجد أنها قد تعمل على خفض ملوحة التربة بشكل مباشر أسفل أغطية المهاد. أما حقن الأحماض (مثل السلفوريك) فقد يكون مطلوباً في بعض الأحيان من أجل زيادة ذوبان الأملاح لتسهيل ترشيحها.

وأقصى رشح للأملاح سيظهر قرب المنقطات، وستنخفض الفعالية كلما ابتعدنا عن المنقطات. واستنبات بذور بعض المحاصيل، قد يتطلب اتباع طريقة الري بالرش لتحريك الأملاح تحت قاع جورة البذرة. وفي المناطق القليلة الأمطار، قد يكون من الضروري اتباع طريقة الري بالرش بشكل دوري لدفع الأملاح إلى ما دون عمق أنابيب الري. ومن الأساليب الأخرى للتحكم في الملوحة، القيام بالري أثناء المطر، لدفع الأملاح إلى خارج الحيز المروي. كما يتم أيضاً استخدام طريقة تشكيل قاع مرقد البذور والتي تعمل على تشكيل مرقد بذور أعلى من اللازم، ومن ثم فإن نظام التنقيط يتم تشغيله لدفع الأملاح إلى السطح، ثم بعدئذ يتم كشط سطح التربة المالح إلى الجانب ويكون المحصول مغروساً في التربة الأقل ملوحة عميقاً في مرقد البذور.

ولابد من إجراء تحليل كيميائي كامل للتربة كجزء استهلالى من عملية التخطيط لإضافة الماء إلى جانب التخطيط للقرارات المتعلقة بعملية الزراعة نفسها. كذلك قد تظهر الملوحة أو التغيرات الحادثة في الرقم الهيدروجيني pH فى التربة نتيجة لنوعية الماء أو كنتيجة لمختلف برامج معالجة المياه، وبرامج التحكم في الكيماويات و/أو المخصبات (الأسمدة). والرقم الهيدروجيني pH فى التربة يمكن أن يكون له تأثيرات رئيسة على توافر العناصر الغذائية للنباتات، وفي بعض الحالات، يمكنه أن يسبب السُمّية. أما محسّنات التربة (مثل مسحوق الجبس أو الجير) فلابد من استعمالها قبيل عملية الغرس، لتحسين المشكلات المتوقعة أو القائمة بالفعل، على الرغم من أن بعض الجبس الإضافي يمكن حقنه من خلال نظام الري الدقيق. ولابد للمنتجين الزراعيين من أن يقوموا بشكل سنوي بمراقبة كيميائية التربة في منطقة الجذور طوال فترة عمر نظام الري.

(١٧,١,٢,٢) كمية الماء

لابد من تحديد كل من توقيت وتوافر وموثقية إمدادات المياه طويلة الأمد. فأعماق الري الموسمية المطلوبة لكثير من المحاصيل يمكن ان تتراوح بين ١٠٠ و٢٠٠٠ مم. وغالباً ما يتم تصميم نظم القنوات ونظم توزيع المياه داخل المزارع بحيث تعمل على استيفاء متطلبات الري السطحي أو الري بالرش (أي، ١,٠ لتر/ث لكل هكتار اعتماداً على إجمالي المنطقة المروية من المزرعة) أو ربما تكون مقادير توزيع الماء معتمدة على مناوبات زمنية (مثل كل سبعة أيام)، وهو ما لا يتلاءم مع تصميمات الري الدقيق. ويكون البخر-نتح ET أعلى مع الري الدقيق بسبب انخفاض جهد الجفاف، على الرغم من أنه سيكون لأغلب الوقت أقل من نظيره في طرق الري الأخرى نتيجة لانخفاض فواقد البخر من التربة، ويتطلب الأمر وجود آبار مياه إضافية وبرك تخزين إضافية للانتفاع بشكل فعال بتقنيات الري الدقيق في ظل ظروف معينة.

(١٧,١,٢,٣) نوعية الماء

إن الخواص الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية لنوعية الماء، بما في ذلك الملوحة، هي شأن ذو أهمية رئيسية عند إدارة كافة نظم الري الدقيق (Nakayama and Bucks, 1991; Lamm *et al.*, 2000). فالخواص الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية لإمدادات الماء من كافة المصادر (مثل الآبار، والقنوات ومياه البرك المعاد استخدامها) لابد من أخذها في الحسبان. فإمكانية انسداد المنقطات بالملوثات الفيزيائية أو البيولوجية أو الكيميائية يمكن أن تتسبب في خلق مشكلات هامة. فالنجاح مرهون بتنقية ومعالجة الماء لتتماشى الشروط الفعلية لجودة الماء طوال العام مع كل من المياه السطحية والمياه الجوفية. وفي بعض الأحيان، لا يكون من المجدي اقتصادياً معالجة مصدر الماء لجعله ملائما لطريقة الري الدقيق ومن ثم لابد من التفكير في طريقة ري أخرى.

وبرنامج معالجة الماء الناجح لابد له من مراعاة أسوأ الظروف الممكنة، ويستوفي معايير جودة الماء العالية المطلوبة في نظام الري الدقيق. ولابد من تقييم احتمالية تملح التربة نتيجة لإمدادات المياه. فعملية الرسمدة، وعملية حقن المواد الكيماوية الأخرى تستلزم معرفة بالمكونات الكيميائية للماء لضمان التوافقية بين المواد الكيماوية المحقونة وكذلك للمساعدة في تحديد التدابير والاحتياجات المناسبة للمعالجة الكيميائية للماء.

أما الاختبارات المعملية فهي ضرورية لتحديد طبيعة وتكوين الملوثات غير العضوية، وكذلك لتحديد الحصص النسبية لكل واحد من تلك الملوثات والتي قد تخلق مشاكل بارزة في الإدارة طويلة الأمد لنظام الري، أو قد تؤثر على انتفاع المحصول من الماء والعناصر الغذائية. والمخاوف النوعية هنا تشمل الرقم الهيدروجيني pH، والملوحة (التوصيل الكهربائي)، والكالسيوم، والماغنسيوم، والصوديوم، والحديد، والمنجنيز، والكربونات، والبيكربونات، والكبريت. أما الملوثات العضوية فتكون في بعض الأحيان مشكلة كبيرة، ولكن تلك الملوثات العضوية عادة ما تتم مكافحتها بواسطة التنقية الجيدة والمعالجة بالكلور.

وبرنامج المعالجة الجيد قد يتكون من العديد من الخطوات أو المراحل المتتابعة التي تشمل: أحواض الترسيب، شبكات الجاذبية، فواصل الطرد المركزي، المرشحات المنخلية، المرشحات القرصية، المرشحات الوسطية، بالإضافة إلى حقن الكلور أو الأحماض أو مواد المعالجة الكيماوية الأخرى للماء. وكل من التصميم والإدارة الملائمة لكل مرحلة من مراحل نظام المعالجة يوفران القدرة على المحافظة على استيفاء المعايير العالية لجودة الماء طوال فترة دوام المشروع على الرغم من التفاوتات في الخواص الفيزيائية والكيميائية بمرور الزمن. وهناك المزيد من المعلومات النوعية والتفصيلية حول المسائل الخاصة بجودة الماء والمرتبطة بطريقة الري الدقيق ستتم مناقشتها في العديد من الأقسام اللاحقة في هذا الفصل.

(١٧,١,٣) الاعتبارات البيئية

هناك فوائد بيئية كبيرة يمكن أن تنتج عن نظم الري الدقيق، ونظم إضافة الكيماويات، والمصممة والمُصانة والمُدارة بشكل لائق. فالفوائد البيئية تنتج عن تقليل انحرافات الماء، وتقليل استخدام الكيماويات، وانخفاض تلوث المياه الجوفية من خلال خفض تسريب الأملاح والمواد الكيماوية الأخرى أسفل مستوى حيز جذور النبات.

وعلى الرغم من أن الري الدقيق بمقدوره تحقيق توزيع عالي الانتظامية للماء، إلا أنه في الواقع لا يكون دوماً تام الانتظامية. ونتيجة لذلك، فإن بعض أجزاء من الحقل سيتم الإفراط في ريها بينما البعض الآخر سيتم العجز في ريها. فالإفراط في الري سيتسبب في هدر الماء وينتج عنه تسرب عميق مما قدّ يلوث مصادر المياه الجوفية العميقة. ويُعزي ظهور نسب الفقد في التسرب العميق إلى الإفراط في تقدير البخر-نتح ET مما يؤدي إلى الإفراط في إضافة الماء، وإلى عدم انتظامية الري، وإلى الإفراط في الري بسبب سوء جدولة الري أو بسبب الافتقار إلى الأتمتة والمراجعة، وإلى الترشيح للتحكم في ملوحة التربة. أما العجز في الري فسينتج عنه خفض في إنتاجية المحصول وقد يتسبب في تراكمات غير مرغوبة في ملوحة التربة.

الإضافة غير الملائمة لبعض مبيدات الآفات الزراعية وعناصر التطهير بالتبخير تؤثر بصورة سلبية على أشكال الحياة البيولوجية المختلفة في التربة، بما يشمل ديدان الأرض، والبكتيريا، والفطريات، والحشرات. وتصريف مياه التنظيف من المرشحات والخطوط الفرعية قد يمثل مشكلة في بعض الأحيان، لا سيما إذا كان هناك مبيدات آفات أو أسمدة في ماء التنظيف.

(١٧,١,٤) الاعتبارات الاقتصادية

إن الهدف النهائي لأي نشاط زراعي هو تحقيق أقصى صافي عائد اقتصادي. وكل من انتظامية نظام الري، وممارسات جدولة الري، وتكلفة مياه الري، وسعر المحصول، وحالات النقص في إنتاجية المحصول بسبب الري الناقص، والتلف الناتج عن الإفراط في الري، بما يشمل التلوث المحتمل للمياه الجوفية، هي جميعها عوامل غاية في الاهمية، لتأثيرها على العائد الاقتصادي لنظام إنتاج زراعي بطريقة الري الدقيق. وكما ان كلا من العائدات الاقتصادية المتوقعة، والانتظامية اللازمة لنظام الري، هي أمور يمكن لها أن تؤثر هي الأخرى في انتقاء المنقطات.

(١٧,٢) نظم الري الدقيق

(١٧,٢,١) الطرق

إن طرق الري الدقيق يتم تعريفها بشكل عام بواسطة أداة إطلاق الماء. فأداة إطلاق الماء تتراوح ما بين الأنابيب البلاستيكية الرفيعة الجدران ذات فوهات الثقوب البسيطة، والرشاشات الصغيرة، ومنقطات الفوهة ومنقطات المسار الطويل ذات التصرف الطبقي، والأنابيب الدقيقة، وصولا إلى المنقطات الأكثر إتقاناً وكفاءة، كالمنقطات ذات المسار المضطرب، والمنقطات المعادلة للضغط. وبعض أدوات إطلاق الماء يتم تصنيعها كجزء لا يتجزأ من الأنابيب وأشرطة الري البلاستيكية، بينما البعض الآخر يعلق أثناء التركيب.

أما موزعات الماء السطحية فتشمل المنقطات (المقطرات)، والرشاشات الصغيرة/ والرذاذات الدقيقة، والنابعات، وجميعها تقوم بتوزيع الماء فوق أو أعلى سطح التربة. والتنقيط تحت السطحي يشمل استخدام المنقطات ذات مصادر التوزيع النقطية للماء، أو أشرطة وأنابيب المنقطات ذات مصادر التوزيع الخطية للماء من أجل إضافة الماء فيما تحت سطح التربة على أعماق تعتمد على نوعية التربة والمحصول. والتنقيط السطحي وتحت السطحي ظل يتم استخدامه كذلك للتحكم في منسوب الماء الأرضي في بعض المناطق الرطبة كبديل عن الري التحتي، ولا سيما مع محاصيل الخضر. ويتم تصميم كل من المنقطات والنابعات لإضافة الماء عند الضغط الجوي أو أعلاه بشكل طفيف، بينما، الرشاشات الصغيرة تقوم بإضافة الماء عند ضغط يبلغ ما بين ٧٠ إلى ما يزيد على ٢٥٠ كيلوبسكال.

وهناك اثنتان من الفئات العامة للخطوط الفرعية للري الدقيق، هما أشرطة الري وأنابيب الري والمصنعين من البولي إيثلين. والأشرطة قابلة للطيّ، وهي أنابيب بولي إيثلين رفيعة الجدران، ومنخفضة الضغط، وعلى متنها منقطات أو فتحات، أما الأنابيب فهي أكثر متانة وتكلفة من الأشرطة، ولها جدران أكثر سماكة، ويكون أو لا يكون عليها منقطات سابقة التجهيز، كما أن كلا من الأشرطة والأنابيب يمكن أن تنقسم إلى خمس فئات اعتماداً على استخداماتها، وهي: (١) أشرطة الري السطحية الرفيعة الجدران غير القابلة لاعادة الاستخدام (عمر سنة واحدة)، (٢) أشرطة الري الضحلة المدفونة (عمر من ١ — ٥ سنوات)، (٣) أشرطة الري السطحية القابلة لإعادة الاستخدام/ أو الاسترجاع (عمر من ١ — ٣ سنوات)، (٤) أنابيب الري السطحية القابلة للاسترجاع (عمر متعدد السنوات)، (٥) أنابيب الري المدفونة (عمر متعدد السنوات). وأشرطة الري يشيع استخدامها غالباً مع المحاصيل الصفية (المزروعة في صفوف) السنوية أو الموسمية، في حين أن أنابيب الري غالباً ما يشيع استخدامها مع المحاصيل الحولية. وبيان الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم

(٨٤٣٥)، والخاص بأنابيب البولي إيثلين المستخدمة في الخطوط الفرعية للري الدقيق، يقدم متطلبات تصنيع واختبار أنابيب الري (ASAE, 2005c).

وأشرطة الري عادة لها سمك جدران يتراوح بين ٠,١ مم و٠,٦٤ مم مع أقطار داخلية تتراوح بين ٩,٥ مم و٢٨,٦ مم، والمنقطات عادة ما تحظي بنقاط على مسافات متقاربة متماثلة (أي ٣,٥ – ٦٠ سم) على امتداد طول الخط الفرعي، والمنقطات هي فوهات بسيطة، أو مسارات طويلة، أو مسارات تدفق متداخلة، أو توليفة من كل ذلك. والمنقطات قد تكون ملحومة (مصبوبة) داخل شق لحام أشرطة الري أو قد تكون أدوات منفصلة سابقة التجهيز، يتم تركيبها أثناء التصنيع. وحالياً، لا تتصف المنقطات الملحقة بأشرطة الري بكونها معادلة للضغط، كما أن معدلات تصرف الماء للمنقطات من أشرطة الري تترواح بين ٠,٢ لتر/ساعة وأكثر من ٧,٦ لتر/ساعة، أما ضغوط تشغيل أشرطة الري فتتراوح ما بين ٢٠ كيلوبسكال وحوالي ١٤٠ كيلوبسكال. ولابد دوما من وضع أشرطة الري هذه مع جعل وجه المنقطات لأعلى، تحسبا لمشكلات الانسداد بسبب تراكم الرواسب في القاع.

أما أنابيب الري فلها سمك جدران يتراوح بين ٠,٢٥ مم وما يزيد عن ٠,٩ مم مع أقطار داخلية تتراوح ما بين ٩ مم وما يزيد على ٣٥ مم. وهنا نجد أن المنقطات سابقة التركيب على الأنابيب لها نقاط على مسافات متماثلة، وعلى كل الأحوال، على خلاف أشرطة الري، نجد أن الرشاشات الدقيقة، والمنقطات ذات مصادر التوزيع الطرفية للماء يمكن تركيبها في الحقل على أي مسافة على شبكات أنابيب الري لاستيفاء اشتراطات معينة للري. والمنقطات هنا تكون إما معادلة أو غير معادلة للضغط، مع معدلات تصرف للماء تتراوح ما بين ١,٥ وما يزيد على ٢٠ لتر/ساعة، بينما معدلات التصرف في الرشاشات الصغيرة تتراوح ما بين حوالي ٥ وما يزيد على ٤٠ لتر/ساعة، أما ضغوط التشغيل فتتراوح ما بين ٤٠ كيلوبسكال وما يزيد على ٢٥٠ كيلوبسكال.

(١٧,٢,١,١) التنقيط ومنقطات الرشاشات الصغيرة

إن توزيع الماء بواسطة التنقيط ومنقطات الرشاشات الصغيرة تتميز بكونها تطبيقات تعتمد على مصادر توزيع الماء سواء كانت طولية أو نقطية لكل من أشرطة الري وأنابيب الري، على السواء، فأما مصادر توزيع الماء الطولية فتقوم بتوزيع الماء بنمط متواصل أو شبه متواصل على طول امتداد جانب الأنبوب، وإلى هذه الفئة تنتمي خراطيم الغمر أو الأنابيب المسامية (وهي من المنقطات الطولية) والتي فيها يكون جدار الأنبوب بالكامل عبارة عن سطح تسرب (رشح) بالإضافة لكون أشرطة الري بالتنقيط ذات مواضع تنقيط متقاربة المسافات (ما بين ١٥ - ٣٠ سم) وتتداخل أنماط توزيعها للماء. أما مصادر توزيع الماء النقطية فيمكن تصنيفها اعتماداً على خصائص تدفقها، إلى عدة مجموعات هي، المنقطات ذات المسار الطويل (مثل أنابيب الري الدقيقة، ومنقطات التدفق الطبقي، والمنقطات ذات المسار المتعرّج، والمنقطات ذات المسار القصير (مثل البخاخات الدقيقة وغيرها من المنقطات الأخرى ذات الفوهات)، ومنقطات الفوهة الدوامية، والمنقطات المعادلة للضغط. وهذه الأدوات تقوم بتوزيع الماء على نقاط متفرقة، وقد يظهر أو لايظهر التداخل بين انماط ري كل منها على التربة، اعتماداً على المسافات بين المنقطات، وزمن الري، ومعدل تصرف المنقط.

وكل من المنقطات ذات الفوهة والمنقطات ذات أنابيب الري الدقيقة هما أدوات التنقيط الأكثر بساطة، وقد كانوا الأكثر شيوعاً في مرحلة التطور المبكرة للري بالتنقيط، لكنها حالياً لا يتم استخدامها إلا فقط مع أشرطة الري. ويمثل الانسداد في العادة مشكلة خطيرة للمنقطات ذات الفوهة بسبب صغر أقطار الفوهات (أقل من ٠,٣ مم)، وانخفاض معدلات التصرف منها. أما منقطات الفوهة الدوامية فما هي إلا منقطات ذات فوهة تم تعديلها بحيث يدخل الماء إلى المنقط بسرعة زاوية وبذلك فإن الحركة الدوامية الدورانية توفر فقداً إضافياً في الطاقة، ومن ثم فإن الفوهة يمكن أن تكون أكبر حجما وأقل عرضة للانسداد.

أما أنابيب الري الدقيقة فهي إحدى المنقطات ذات المسار الطويل والتي يتم تثبيتها داخل خط أنابيب التنقيط، واختلاف أطوال أنابيب الري الدقيقة يمكن أن ينتج عنه معدلات تصرف متفاوتة اعتماداً على أبعادها وعلى ضغط الماء. وأقطار أنابيب الري الدقيق تتراوح بشكل نمطي بين ١ و١٠ مم، ويمكن لخصائص السريان أن يكون إما طبقياً أو مضطرباً، كدالة مع قطر الأنبوب. وأنابيب الري الدقيقة ذات التدفق الطبقي (للأقطار الصغيرة) تميل لتجميع رواسب صغيرة وهي عرضة نوعاً ما للانسداد الجزئي. أما المنقطات ذات المسار الطويل أو الدورانية فهي في الأساس إحدى منقطات أنابيب الري الدقيقة، والتي يتم لفها حول أنبوب قصير من البلاستيك وأكبر حجماً لتكوين وحدة أكثر إحكاماً. أما أنابيب الري الدقيقة الأكبر حجماً وذات السريان المضطرب فينتج عنها تأثير النابعات وعادة ما تعاني مشاكل انسداد أقل (Rawlins, 1977).

أما المنقطات المتداخلة والمصممة بمسارات طويلة متشابكة فسوف تنتج سرياناً مضطرباً عند ضغوط التشغيل الطبيعية، لذا غالباً ما تسمى بالمنقطات المتعرجة أو المنقطات ذات المسار المتعرّج. والسريان المضطرب يقاوم الانسداد من خلال السماح لمسار السريان بأن يكون كبيرا قدر الإمكان ومن خلال منع الجسيمات الصغيرة من أن تستقر أو تترسب في المسارات. ومعدلات التصرف من المنقطات ذات المسار المتعرّج تكون أيضاً غير حساسة نسبيا لتقلبات درجات الحرارة (Wu and Phene, 1984; Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999)، ومن ثم فإنها تتجنب أحد المسببات الرئيسة للتوزيع غير المتماثل للماء في ظل الظروف الحقلية. وحالياً، فإن أغلب المنقطات ذات مصادر التوزيع النقطية للماء تستخدم مسارات السريان المضطرب للتحكم في توزيع الماء من خلال الأنابيب وبعض أشرطة الري.

والمنقطات يمكن أن يتم إقحامها أو لحامها (صبها) داخل الأنبوب أو شريط الري خلال عملية التصنيع، ومع المنقطات الداخلية الموجودة داخل خط الأنابيب، ليس هناك من نتوءات تتداخل مع عملية التركيب أو التفكيك الميكانيكي للأنبوب أو

لـشريط الـري. وعوضـا عـن ذلـك، يمكـن أن يـتم توصـيل المنقطـات (والرشاشـات الصغيرة) بالسطح الخارجي للأنبوب عند إنشاء النظام، وفي العادة من خلال فتح ثقب يدوي وإقحام الطرف الشائك من المنقط فيه. وهذا الإجراء يحتاج إلى المزيد من العمالة لكنه يسمح للنظام بأن يتم تخصيصه (حسب الطلب) ليتوافق مع احتياجات النباتات المتباعدة بشكل واسع أو بشكل غير متساو.

أما الرشاشات الصغيرة فأدوات إطلاق الماء منها بوجه عام فوهات بسيطة وتشمل: الرشاشات صغيرة الحجم والمنخفضة الضغط، والمبخرات، والباصقات، والنافثات، والرذاذات، والتي جميعها يتم تثبيتها في الحقل على الأنابيب. وعادة تقوم هذه الأدوات بإضافة الماء بمعدلات تتراوح (بين ٣٥ و٧٠ لتر/ساعة) على مناطق أكبر حجما من التي تغطيها منقطات التنقيط، ولكنها لا تغطي بشكل منتظم كامل النطاق المحصولي. وهي يتم استخدامها لري المحاصيل الشجرية، والنباتات واسعة التباعد، ومناطق الأعشاب المحصورة موضعياً وذات الجذور الكثيفة، لا سيما فى التربة الرملية حيث تكون الحركة الجانبية لماء التربة محدودة بواسطة الخواص الهيدروليكية للتربة، أو في مناطق أخرى ذات أعماق محدودة لجذور النباتات. وعادة تتراوح حجوم فوهاتها بين ٠,٥ مم و٢ مم، وتنخفض مشكلات الانسداد بشكل كبير مع حجوم الفوهات الأكبر من ٠,٧٥ مم (Wu *et al.,* 1991) المصحوبة بتنقية ومعالجة كيماوية مناسبة للماء. والرشاشات الصغيرة يتم تثبيتها بعد مدّ خطوط أنابيب الري الفرعية في الحقل. وهي قد يتم إقحامها بواسطة وصلات تثبيت شائكة على الأنبوب، ولكنها في الغالب الأعم يتم تركيبها على تجميعات وتدية وتوصيلها بالخطوط الفرعية بواسطة أنابيب بقطر من ٤ – ٦ مم، والبعض منها كذلك قد يتم تعليقه مباشرة على الوصلات البلاستيكية PVC المستخدمة لتمديد الخطوط الفرعية. ونجد أن وضع تقنيات الري بالرشاشات الصغيرة يتقدم بشكل متسارع، وأنه قدّ تم تطوير واختبار رشاشات صغيرة محسنة (مثل تلك المعادلة للضغط وذاتية الغسيل).

وهناك نوعية من البخاخات (الرذاذات) الدقيقة تطلق نفث الماء في بثقات قصيرة تبلغ حتى ٦٠ - ٧٠ دورة في الدقيقة، وهو ما يعمل على التقليل للحد الأدنى من معدلات إضافة الماء وفي الوقت ذاته يزيد للحد الأقصى من نصف قطر البلل. وهذه الأمور يمكن أن تكون ميزة مع التربة الثقيلة ذات معدلات التسرب المنخفضة أو أنواع التربة حيث تكون الحركة الجانبية للماء ذات أهمية.

وكلا منقطات التنقيط والرشاشات الصغيرة متوافرة كأدوات معادلة للضغط. وهذه الأدوات تستخدم فوهات تغير قطرها اعتماداً على الضغط، ومن ثم تقوم بتثبيت تصرفها. والأدوات المعادلة للضغط يتم استخدامها لتوفير تصرفات متماثلة من كل وحدة تنقيط على امتداد طول الخط الفرعي مهما كان هناك فروق في الارتفاعات، أو فواقد حادة في الضغط عبر أطوال الخطوط الفرعية الطويلة، في جعل التفاوتات في التصرفات تتجاوز المعايير المحددة. وعلى كل الأحوال فإن هذه الأدوات هي أكثر تكلفة من أدوات التنقيط القياسية.

(١٧,٢,١,٢) نظم الري بالنابعات منخفضة الضاغط

النابعات هي منقطات ذات فوهات كبيرة وضغط منخفض، تقوم بتوزيع الماء على نقاط متفرقة ولكن بمعدلات أعلى بشكل كبير من منقطات التنقيط والرشاشات الصغيرة العادية. فمتطلبات التنقية هنا قد تم خفضها بدرجة كبيرة، لكن معدلات التصرف غالباً ما تكون عالية للغاية حتى أنه قد يكون من المطلوب وجود أحواض أو تضاريس مسطحة للغاية لمنع حدوث عملية الجريان السطحي. وبعض النابعات يتم تصميمها لتعمل على المضخات ذات التدفق بالجاذبية أو المضخات المنخفضة الضاغط، (من ١ إلى ٨ م) وذات التصرف العالي، بينما البعض الآخر منها يستخدم خطوط أنابيب ذات ضغط يبلغ (٢٠٠ كيلوبسكال) لتوزيع الماء. أما نظم النابعات ذات الضغط العالي فتستخدم أدوات خاصة ذات فتحات كبيرة حيث يمكن ضبط معدلات التصرف بشكل يدوي عند كل موضع.

ونظم الري بالنابعات منخفضة الضاغط تستخدم منقطات أنابيب الري الدقيقة لتوصيل الماء إلى المحصول، وهذه النظم تتكون من خط أنابيب رئيسي متصل بأحد مصادر الماء، وأداة ثابتة الضاغط، وخط أنابيب مغذ، وخط فرعي، وخراطيم توزيع صغيرة القطر (أنبوب دقيق بقطر داخلي يبلغ مابين ٤ إلى ٢٦ مم)، والخطوط الفرعية عادة ما يتم دفنها وتمديدها فيما بين صفوف النباتات، ويتم إقحام خرطوم طويل بشكل كاف وذي قطر كبير (يبلغ من ٥ إلى ٢٥ مم) داخل الخط الفرعي لتوزيع الماء إلى النبات. وخراطيم توزيع الماء ترسو على إحدى الأشجار أو الأوتاد (السنّدات)، ويتم ضبط منسوب المخرج على ميل الطاقة الهيدروليكية ومن ثم يتدفق الماء عبر النابعات المتصلة بكافة الخراطيم بمعدلات متساوية.

والنابعات تتناسب بشكل جيد مع الري الاقتصادي للأشجار ومحاصيل الكروم ويتم تطويرها من أجل التطبيقات الخاصة بالأعشاب وأراضي البساتين، ونظم النابعات لا تتطلب في العادة نظم ضخّ وتصفية متقنة، ولكن نطاق تبني العمل بها ليس واسعاً (Yitayew *et al.*, 1995). وقدّ تمت مناقشة الاعتبارات الخاصة بتصميم وتركيب نظم النابعات المنخفضة الضاغط في كل من الدراسات التالية: يتايو وآخرين Yitayew *et al.* (1995)، ويتايو وآخرين Yitayew *et al.* (1999)، وهورتون وبيهوتيجي Thorton and Behoteguy (1980)، وراولنز Rawlins (1977).

(١٧,٢,٢) أنماط البلل

إن الماء المضاف ينتقل عبر التربة بشكل كبير في ظل ظروف تدفق غير مشبع عند مقدمة جبهة البلل. ويمكن التنبؤ بكل من توزيع الماء، وشكل حجم البلل من خلال القوانين الفيزيائية للحركة الشعرية لكل من مصادر الماء النقطية، أو المصادر الخطية للماء. (Warrick and Lomen, 1983 ؛ Clothier *et al.*, 1985 ؛ Philip, 1991 ؛ Or and Coelho, 1996 ؛ وآخرون غيرهم).

فالمنقطات ذات المصادر النقطية للماء ستعطي حجماً مبللا في التربة يتأثر بكل من المحتوى الرطوبي الابتدائي في التربة، ومعدل تصرف المنقط، وتكرارية ومدة

الري، والحركة الشعرية للماء وقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء. وفي المناطق الجافة، تعطي المنقطات أنماط بلل في التربة تحدد حجم وشكل نطاق جذور المحصول.

والمصادر النقطية للماء تشير إلى منقطات مفردة ذات نقاط إضافة متفرقة. والمنقطات ذات المصادر النقطية للماء، تستخدم بوجه عام مع المحاصيل الشجرية أو غيرها من النباتات الواسعة التباعد. أما منقطات الرذاذ الدقيق ذات المسافات الواسعة بحيث لا تتداخل أشكال البلل فيها، هي أيضاً من المنقطات ذات المصادر النقطية للماء. بل وحتى مجموعات المنقطات ذات أنماط البلل المتداخلة – ولكن المصممة كوحدة واحدة – كالتي توضع حول شجرة منفردة، يمكن أن يتم اعتبارها من المنقطات ذات المصادر النقطية للماء.

أما أنماط البلل مع المصادر الخطية للماء فتظهر عندما تندمج تطبيقات المنقطات على امتداد أحد الأنابيب الفرعية، ونمط البلل يكون على شكل شبه دائري، أو تشكل أغوار من التربة المبللة في الحقل. والمحاصيل الصفّية عالية الكثافة عادة ما يتم ريها من خلال المصادر الخطية بواسطة خطوط الأنابيب الفرعية ذات المنقطات أو الرذاذات الدقيقة قريبة المسافات.

إن شكل البلل لأحد المنقطات ذات المصادر النقطية للماء في التربة المتجانسة هو شكل نصف كروي ثلاثي الأبعاد ذو ميل للماء بعيدا عن مركز المصدر باتجاه حافة الشكل الكروي، أما شكل البلل للتنقيط من المصادر الخطية بواسطة منقطات ذات مسافات متقاربة فسوف يكون شبه أسطواني ثنائي الأبعاد في التربة المتجانسة، أما في التربة متعددة الطبقات، فإن أنماط البلل ستميل لأن تكون محصورة داخل الطبقة العليا ومن ثم فإن قاع الشكل شبه الكروي أو شبه الأسطواني سيكون مسطحاً نسبياً وسوف يكون نمط البلل على شكل قرص أو مستطيل.

أما طبقات التربة الصلبة في الكثير من أنواع التربة فيكون بها مسام مسافاتها أصغر مما في المادة التي هي أعلاها أو أسفلها، والطبقة الصلبة تعمل كحاجز؛ لأن

الحركة الشعرية للماء لا تظهر بسرعة من المسام الأصغر إلى المسام الأكبر أسفل الطبقة الصلبة. وبالمثل حين يكون للتربة الناعمة طبقة أساس من مادة أخشن، فلابد للري من ان يقوم بتشبيع التربة العليا قبل أن يدخل الماء إلى الطبقة الأخشن.

(١٧,٣) عوامل التصميم

(١٧,٣,١) اعتبارات عامة

إن تصميم نظام تطبيق الماء سوف يحدد أقصى مستوى أداء محتمل لأي إنتاج محصولي مقترح، في حين أن الإدارة ستبين المنافع الفعلية التي يتم تلقيها وحجم أي تأثيرات بيئية. فأما التصاميم العالية الجودة فهي أسهل في الصيانة وأقل كثيراً في التكلفة عند التشغيل بمرور الوقت، مقارنة بالتصميم الذي هو دون المستوى، والذي يستلزم إصلاحات متكررة وله فترة عمر أقصر. فأما الحدّ الأدنى من الاشتراطات اللازمة لكل من تصميم وإنشاء وأداء نظم الري الدقيق، فقدّ تم طرحها في المعيار الهندسي رقم (EP405.1) للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE، والخاص بتصميم وإنشاء نظم الري الدقيق (ASAE, 2005b).

والقاعدة الأولى لتصميم نظام الري الدقيق هي نفس القاعدة لكافة نظم الري: وهي الإبقاء عليه بسيطاً قدر الإمكان، فالنظام لابد من أن يتم تصميمه ليتواكب مع مستوى خبرة المستخدمين، ولابد له من أن يتلاءم مع احتياجاتهم المنظورة وممارساتهم الزراعية المنظورة. ولابد له من ان يكون موثوقاً به وقابلاً للاستمرار، وقادراً على التحكم في الأملاح، ويسهل التحكم فيه، ويسمح بالقيام بعمليات الحرث والحصاد اللازمة.

ولابد لكل من عمليتي التصميم والإنشاء أن تكونا وفقاً للموقع، فهاتان العمليتان محكومتان بكل من نوع التربة وتوزيعات الأعماق، والتضاريس السطحية، والمناخ، ونوعية الماء، وكميته، والمحاصيل المقترحة، ونظم الزراعة، بالإضافة إلى

الأفضليات التي لدي القائم على الري. وعلى كل الأحوال، فإن كلا من الجوانب الجوهرية والمتمثلة في حالات الري عالية التكرارية، ونطاقات الجذور المروية المحدودة، والتسميد، والمعالجة الكيماوية للماء المستخدم، بالإضافة إلى الاعتبار الاستثنائي الخاص بالانتظامية المكانية لتوزيعات الماء لكل أداة تنقيط، هي جميعا شائعة مع نظم الري الدقيق. ولابد للتصميمات من أن تعمل على تيسير عمليات الصيانة. فكل من البرك وإنشاءات عملية الري الكيميائي (إضافة الكيماويات أثناء الري) لابد من احاطتها بأسوار من أجل حماية العمال، والأطفال والحيوانات. ولابد من إعطاء أولوية قصوى لكل من عمليات معالجة الماء كيماوياً، والتنقية، وغسيل خطوط الأنابيب الفرعية.

ونتيجة لضغوط التشغيل المنخفضة ولانخفاض متطلبات عملية الري الكيميائي، نجد أن المتغيرات الهيدروليكية هي أكثر ثباتاً في نظم الري الدقيق منها في أنواع النظم الأخرى العاملة بضغوط أعلى. وبشكل طبيعي لا يجب أن يتم السماح لضغوط النظام الإجمالية بأن تتفاوت بمقدار أكبر من ٢٠٪ ما لم يتم استخدام منقطات معادلة للضغط.

فأما المقدار الكلي المسموح به للفاقد في الضغط في النظام بالكامل - وهو ما يوفر الانتظامية المرغوبة في النظام - فيتم انتقاؤه في بداية عملية التصميم وهو يعتمد على إستراتيجية ضبط الضغط المفضل (مثل التوليفات المثلى من الصمامات، والمنقطات المعادلة للضغط، والمخططات التضاريسية). كما يتم تعيين مقادير نسب الفاقد في ضغط كل من الخطوط الفرعية، والخطوط المغذية، والخطوط شبه الرئيسة، والخط الرئيس، وضغط رأس التحكم في النظام، بحيث لا يتجاوز مجموع تلك المقادير معايير تصميم النظام الكلية.

وبقدر الإمكان، لابد من تصميم النظم اعتماداً على معدلات التصرف المتوقعة للمنقطات المركبة بالفعل، والتي غالباً ما تختلف عن تعليمات الصانع نتيجة لعوامل مختلفة مثل التفاوت بين المنقطات عند التصنيع، والتغيرات في ارتفاعات النظام،

والتفاوتات في ضغط النظام، وتهالك المنقطات، والفاقد في ضغط التجميعات الوتدية (مثل الرشاشات الصغيرة)، والأطوال المتفاوتة للأنابيب صغيرة القطر (بين ٤ إلى ٦ مم) الممتدة من الخطوط الفرعية إلى أدوات التنقيط. أما معامل التفاوت في التدفق لأدوات التنقيط فلابد دوماً من أن يكون أقل من ١٠٪. أما انتظامية التوزيع فلابد بشكل طبيعي من أن تكون أكبر من ٩٠٪، لا سيما عند استخدام عملية الري الكيميائي.

أما خطوط الأنابيب (والمصنوعة عادة من البلاستيك PVC) فلابد من أن يتم وضعها على أعماق كافية لتجنب التلف بواسطة معدات الزراعة والتشييد. وتقتضي الحاجة وضع قوالب خراسانية لمنع تحرك الأنابيب عند مواضع ملاءمة لمنع إخفاق عمل الأنابيب والصمامات والمكونات الأخرى. وكل من صمامات تفريغ الهواء، وتفريغ البخار، وضبط الضغط، لابد من وضعها جميعا بشكل ملائم وصحيح لضمان التشغيل السليم. ويمكن العثور على المعلومات والإجراءات الخاصة بتركيب أنابيب البلاستيك PVC في بيان الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم (8376,1) بعنوان "تصميم، وتركيب، وأداء خطوط أنابيب الري البلاستيكية الحرارية تحت سطح الأرض (ASAE, 2005a). كما أن بعض المنقطات يتم تصميمها لتيسير تفريغ الهواء في الأنابيب الفرعية المستخدمة على تضاريس سطحية عالية التباين.

والتصميم من أجل تيسير الصيانة هو أمر حاسم، فمن المهم أن نضمن أن هناك إمكانية وصول سهلة لكافة المعدات ومختلف مكونات النظام من أجل صيانتها أو استبدالها سواء كانت مدفونة أو على السطح. وكافة المكونات الموضوعة أعلى التربة هي بشكل نمطي على ارتفاع ٠,٤ م ودون أن تزيد على ١,٥ م أعلى سطح الخرسانة أو التربة من أجل تيسير الصيانة، وكافة وصلات الأنابيب لابد أن تكون ذات طول كاف لمفاتيح الربط. أما المناطق المسيجة فلابد أن تتخذ احتياطاتها لإمكانية الوصول إلى المعدات.

ولابد من أن يتم تثبيت الصمامات لتقوم بشكل هيدروليكي بعزل المكونات التي تحتاج بصورة متكررة إلى تنظيف، أو إصلاح، أو استبدال، مثل المرشحات داخل

الخطوط. وبالمثل، لابد أن يكون من المستطاع عزل المناطق داخل الحقل من أجل الصيانة بدون الحاجة إلى إغلاق النظام بالكامل. وكل من وصلات الأنابيب ملولبة الطرفين، أو ذات شفات اللحام، أو قارنات التوصيل، لابد من أن يتم توفيرها من أجل الإزالة السلسة للمكونات التالفة. وفي المناطق ذات الأجواء الباردة، لابد من أن تتوافر القدرة على تجهيز النظام بكامله لأجواء الشتاء، بما يشمل صمامات صرف الماء، وحفرات التسرب، وإذا لزم الأمر وجود تدابير احتياطية لاستخدام الهواء المضغوط لإزالة الماء حين لا يكون لخطوط الأنابيب ميول ملائمة لإحداث الصرف بفعل الجاذبية. وكما أن كلاً من المضخات، والمرشحات، وعدادات التدفق، ومقاييس الضغوط، والخزانات، والصمامات، جميعها قد تستلزم أيضاً طرق تثبيت أو إزالة خاصة من أجل الحماية من درجة الحرارة الباردة. فالمضخات ولوحات التحكم الكهربية لابد من حمايتها من التعرض للشمس بواسطة أغطية أو مظلات لخفض الحرارة ولإطالة فترة صلاحيتها لأقصى مدى.

والافتقار إلى فهم أوجه النفع والقصور الجوهرية في طريقة الري الدقيق قد أدى لظهور الكثير من النظم التي تم عن غير قصد تصميمها دون المستوى. والإشارات الأكثر شيوعا للنظام الذي يكون دون المستوى هي العجز عن توفير الاحتياجات المائية للمحصول بشكل كامل خلال فترات ذروة الاحتياجات المائية، وسرعات الدفق الخطي غير الملائمة، كما أن رداءة التصميم قد تجعل مرونة التشغيل محدودة.

أما العوامل الخارجية مثل ملوحة التربة، والخصائص الهيدروليكية للتربة، وحساسية المحصول، وكمية الماء، ونوعية الماء، وأي مسائل بيئية، فلابد من أخذها جميعا في الاعتبار منذ البدء في عملية التصميم. فهذه المسائل ستساعد عند انتقاء الأنابيب والمنقطات والمسافات بين المنقطات.

(١٧,٣,٢) الاعتبارات الخاصة بكل من الحقل والمحصول

إن طريقة الري الدقيق تقوم بتوزيع الماء بشكل مباشر داخل النطاق الجذري للنباتات، ومن ثم فإن انتقاء المنقطات لابد أن يراعي الخصائص الجذرية للمحصول،

والحجم المتوقع للتربة المفترض تبليلها في الحقل، والمقدار الكلي للماء المفترض إضافته، والإجمال المقدر للوقت المسموح به لكل رية في اليوم. وانتقاء المنقطات والمسافات بينها سيعتمد على كل من الحدّ الاقصى لمقدار الماء المضاف، وزمن الري المقدر، واعتبارات إمدادات المياه، والسعة الهيدروليكية.

والمحاصيل الموسمية قد تستلزم واحداً إلى خمس منقطات أنابيب فرعية لكل صف نباتات لتوفير الاحتياجات المائية بشكل ملائم اعتماداً على نوع التربة، وأدوات التنقيط، وحجم النباتات والمناخ. أما النباتات الدائمة الواسعة التباعد مثل أشجار البقان (الجوز الأمريكي)، فلابد من أن تحظى على الأقل باثنين من خطوط الأنابيب، على بعد ٢ إلى ٣ م على كلا جانبي صف النبات. أما المحاصيل الحولية ذات التباعد الأكثر تقارياً، مثل نباتات الهليون (وهو من الزنبقيات)، والأعناب، ونباتات حشيشة الدينار (وهي من الكروم)، فقد تحتاج إلى أنبوب فرعي واحد فقط لكل صف أو حوض نباتات. أما الزراعة في المناطق الرطبة فقد تتطلب المزيد من الأنابيب الفرعية والرشاشات الصغيرة بسبب نظم الجذور الكثيفة التي يحفزها التساقط المتكرر للمطر، وذلك لضمان التوصيل الملائم للماء والعناصر الغذائية إلى الجذور.

أما المحاصيل التي تستخدم أشرطة الري بالتنقيط ذات المصادر الخطية للماء، مثل المحاصيل الصفية، أو المحاصيل ضحلة الجذور أو المحاصيل الحولية ذات المسافات المتقاربة، فعادة ما يتم تصميمها اعتماداً على معدل التصرف لكل وحدة طول من الأنابيب الفرعية. أما المحاصيل الدائمة ذات المسافات الواسعة والتي تستخدم أنابيب ري ذات منقطات متفرقة، فعادة ما يتم تصميمها باستخدام معدل تصرف لكل مخرج.

أما المنقطات ذات المصادر النقطية للماء، والتي ليس لها أنماط بلل متداخلة، بما في ذلك الرشاشات الصغيرة، فعادة ما يتم اختيارها لريّ النباتات منخفضة الكثافة من الأشجار، أو الأعناب، أو الخضروات. ولابد لمواضع المنقطات من أن تضمن وقوع أنماط البلل ضمن حيز جذور النبات، وأن ما بين ٢٥٪ إلى ٥٠٪ من حيز الجذور

المحتمل سيتم ريّه. أما المحاصيل الصفية العالية الكثافة، فيتم ريها بوجه عام بواسطة أشرطة الري أو خطوط أنابيب الري الفرعية ذات المصادر الخطية للماء. ونظم الري ذات المصادر الخطية للماء لابد من تصميمها بحيث يكون المجموع الجذري بالكامل للمحاصيل عالية الكثافة مشمولا داخل نمط البلل.

وقد يتطلب الأمر استخدام الرشاشات الصغيرة من أجل زيادة المساحة المبللة للحد الأقصى لتزيد ماء التربة المتاح، مع تجنب حدوث تسرب على أنواع التربة الخفيفة العالية النفاذية، أو المساحات ذات الجذور الضحلة. أما المحاصيل الدائمة ذات المسافات الواسعة، مثل الموالح، فقد يستلزم ريها استخدام الرشاشات لري جزء كبير نسبياً (أكبر من ٥٠٪) من منطقة الجذور، للوصول إلى أعلى إنتاجية، لا سيما في المناطق الرطبة.

ولنفس قطر الخطوط الفرعية، نجد أن المنقطات ذات معدلات التصرف الأعلى ستحظى بتفاوت أكبر في الضغط لكل وحدة طول من الخط الفرعي مقارنةً بالمنقطات منخفضة التصرف، كما أن معدلات التصرف العالية لكل وحدة طول من أنابيب الري سوف تعمل على الحدّ من أطوال الوصلات.

ومن المرغوب بشكل عام بلوغ أعلى معدلات تصرف، والتي تلائم الظروف الهيدروليكية للتربة، لأن أشرطة الري والمنقطات ذوات معدلات التصرف الأعلى تحظى بفوهات أكبر، كما أنها أقل عرضة للانسداد ومن ثم فإنها توفر انتظامية أعلى، كما توفر الحد الأقصى من مرونة التشغيل في جدولة الري. أما نظم الري بالتنقيط المدفونة، فتتأثر بمقدار معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة، ويتم انتقاء معدلات تصرف المنقطات اعتماداً على ما إذا كان المزارع يرغب في أن يكون قادراً على بلل سطح التربة أم لا.

(١٧,٣,٣) اعتبارات نظام الري

إن السعة الهيدروليكية لنظام الري يجب أن تعتمد على أقصى مقدار للبخر-نتح للفترة الأكثر خطورة بالنسبة للنبات الناضج، وعادة في مدى يتراوح بين ٥ و١٠ مم في

اليوم الواحد اعتماداً على كل من نوع المحصول والمناخ وكفاءات التطبيق. فإذا كان النظام اقتصادياً وعملياً، فلابد له من أن يهدف إلى توفير نحو ١٢٠٪ من إجمالي البخر-نتح ET لتوفير القدرة على المتابعة في حالة أوقات التوقف للصيانة، أو انكسار خط الأنابيب، أو تعطل المعدات، أو حالات انقطاع التيار الكهربي أو غير ذلك من المشكلات.

(١٧,٣,٣,١) نظم الأنابيب

لابد من دفن خطوط الري الرئيسة وشبه الرئيسة التي تستخدم أنابيب البلاستيك القاسي PVC غير المحمية من الأشعة فوق البنفسجية. ومن المستحسن الإبقاء على صمامات التحكم أعلى من مستوى الأرض لتسهيل عملية الصيانة و الإبقاء على الخطوط شبه الرئيسة مليئة بالماء وذلك للتقليل إلى الحدّ الأدنى من صرف النظام مع خفض أزمنة بدء التشغيل. ولابد من أن يكون لكل مجموعة صمامات عزل بحيث يمكن صيانتها بدون إيقاف النظام بالكامل. ولابد من أن يكون لكل من الأنابيب وملحقاتها والصمامات معدلات ضغط كافية لتقاوم موجة طرق الماء والضاغط الاستاتيكي للضخ.

الحجوم المناسبة لكل من الخطوط الرئيسة، وشبه الرئيسة، وخطوط التوزيع، والخطوط الفرعية، والصمامات، بالإضافة إلى ضغوط التشغيل الملائمة، تحدد متطلبات الغسيل بالدفق. ومعظم النظم لن يكون لها سعة هيدروليكية كافية لغسل النظام بالدفق على الفور. ففى أغلب الأحيان، سيتم غسل النظام بالدفق في وحدات، مع غلق وحدات أخرى بحيث يتوفر ضغط وتصرف كافيان لغسل كل وحدة بالدفق.

بل وحتى التغيرات الطفيفة في المناسيب عند الضغوط المنخفضة الشائعة في الري الدقيق يمكن أن تسبب تفاوتات كبيرة في معدل التصرف. ويمكن التحكم في الضغوط من خلال الاختيار الصحيح لأحجام أنابيب الري، واختيار صمامات خاصة، و/أو التحكم بدقة في فروق المناسيب داخل الوحدات.

ولابد لمنظمات الضغط من أن يتم تصميمها بحيث تضمن توزيعا متماثلا للماء على كافة أجزاء نظام الري الدقيق، وبحيث تعمل على الحدّ من عدم تثبيت ملحقات الأنابيب بسبب تراكمات الضغط المفرطة. أما المنقطات وأنابيب الري غير المعادلة للضغط فلابد لها من أن تعمل وفق ضغوط دخول متسقة، وأن تكون لها أحجام واطوال وأقطار ملائمة، مع مراعاة انحدار الحقل من أجل تحسين انتظامية إضافة الماء. وتنظيم ضغط البداية مع النظم ذات الضغوط المنخفضة للغاية (أي أقل من ٥٠ كيلوبسكال) عادة ما يتم ضبطه من خلال تغيير طول وقطر الأنبوب الموصل بين أنبوب الري والأنبوب الموزع. وكحدّ أدنى، لابد من وضع أجهزة قياس الضغط عند موضع ضخ التصرف على جانبي المرشحات، وعند بداية كل وحدة ري.

أما الحد الأقصى المسموح به لسرعات السريان في الخطوط الرئيسة وشبه الرئيسة فلابد بشكل طبيعي من أن يكون أقل من ١,٥ م/ث عند أقص معدلات تصرف متوقعة لاجتناب المعدلات المفرطة للفاقد بالاحتكاك ومشكلات الارتفاعات المفاجئة في الكهرباء. وعند استخدام ملحقات الأنابيب غير المحصورة لابد من استخدام دعائم تثبيت عند كافة الأكواع، والوصلات ثلاثية التفرع (وصلات حرف تي)، وصمامات التحكم، والنهايات المسدودة، ... إلخ.

ولابد للخطوط الفرعية من ان تمتد دوما عبر انحدار إلى أسفل للحصول على انتظامية عالية، ولضمان الحصول على سرعات غسيل بالدفق ملائمة للتقليل للحد الأدنى من مشكلات الانسداد. ولا يجب لها قدر المستطاع أن تمتد منحدرة لأعلى؛ لأن الجسيمات تميل لأن تستقر عند الارتفاعات الأقل انخفاضا، ولا يسهل غسلها بالدفق. وبالمثل، نجد أن متطلبات غسل الخطوط الفرعية بالدفق تقضي بأن يتم توصيل الماء لخطوط المنقطات من اتجاه واحد فقط؛ لأنه من المستحسن وجود الجسيمات عند الأطراف البعيدة للخطوط الفرعية من أجل الغسيل بالدفق.

أما نظم المنقطات المعادلة للضغط، فعادة ما تتبع نفس الخطوط العريضة التي تتبعها نظم المنقطات غير المعادلة للضغط، فهذه النظم غالباً ما يتم استخدامها حين

تتسبب حالات التضاريس في ظهور فروق ضغط كبيرة بسبب التغيرات في المناسيب. وكذلك يتم استخدام المنقطات المعادلة للضغط حين تكون كل من الارتفاعات أو أطوال الخطوط الفرعية على وضع يجعل معدلات الفاقد في الضغط بسبب الاحتكاك أو غيره عالية للغاية حتى يمكن الحصول على معدلات تصرف متماثلة من المنقطات. وفي هذه الحالة يمكن تعزيز ضغوط خط الأنابيب لتتوافق مع مدى ضغوط التشغيل للمنقطات المعادلة للضغط لضمان الحصول على تصرفات أكثر تماثلا. وهذه التدابير ليست دوما اقتصادية، ويحتاج استخدامها أن يتم تقييمه لكل حالة على حدة.

(١٧,٣,٣,٢) نظم الترشيح

إن أي نظام ترشيح جيد التصميم والإدارة يعتبر جزءاً حاسماً لأي من نظم الري الدقيق. ولابد لمثل هذا النظام من أن يكون مدعوما بمعالجات كيميائية وبيولوجية ملائمة للماء (Bucks *et al.,* 1979). وهذه النظم مطلوبة لأن كلا من الخنادق والقنوات والبرك المفتوحة تحتوي بوجه عام على شوائب عضوية ومواد جزيئية. كما أن المضخات التي على الآبار قد تدفع بجسيمات من الرمل داخل تيار الماء. والتجمعّات المعلّقة الصلبة ذات التركيز الأعلى من ١٠٠ مجم/لتر تتطلب نظم ترشيح استثنائية. ولابد من التخلص من تلك الشوائب قبل دخولها إلى نظام الري. وعملية الترشيح تتطلب ضغوطاً تتجاوز ضغوط التشغيل الطبيعية للنظام، مما يقلل من منافع توفير الطاقة المحتملة في النظم المنخفضة الضغط. والجزء رقم (١٧,٨,٢) يناقش التدابير والمسائل الخاصة بعملية الترشيح النوعية، كما تناقشها بتفصيل أكبر دراسة نيكايما وآخرين Nakayama *et al.* (2007).

(١٧,٣,٤) اختيار الأنابيب والمسافات بينها

لابد من اختيار أنابيب الري اعتماداً على فترة الصلاحية الاقتصادية للنظام بالإضافة للممارسات الزراعية، ومعدات الحصاد، والظروف البيئية المحيطة. وعلى سبيل المثال، نظم الري المدفونة التي ستكون عرضة لحركة المعدات المباشرة لابد أن يكون من بين مواصفاتها أن تكون من منتجات الأنابيب سميكة الجدران وليس من

منتجات أشرطة الري رفيعة الجدران. أما التضاريس عالية التباين أو الامتدادات الطويلة غير العادية فقد تتطلب أنبوباً ذا قطر كبير مع قوى مقاومة انفجار عالية.

وأطوال أنابيب السريان تعتمد على الخصائص الهيدروليكية النوعية لكل نوع من أنواع أشرطة الري، ومتطلبات تصرف المنقط، وميل الحقل. وللمحافظة على انتظامية عالية على طول الخطوط الفرعية ذات التصرفات المنخفضة والضغوط المنخفضة ورقيقة الجدران (سمكها أقل من ٠,٢٥ مم) لا ينبغي بشكل طبيعي أن تتجاوز طول ٢٠٠ م. أما أشرطة الري السميكة الجدران ذات التصرفات العالية فتكون وبشكل طبيعي بطول أقل من ١٥٠ م. أما كل من أشرطة الري وأنابيب الري ذات الأقطار الأكبر والجدران الأكثر سمكاً (بسمك أكبر من ٠,٢٥ مم) فيمكن في بعض الأحيان أن تكون بأطوال تبلغ ٤٠٠ م أو أكثر. وقد يستلزم الأمر استخدام المنقطات المعادلة للضغط، مع أنابيب الري ذات الأقطار الصغيرة، أو ضغوط التشغيل العالية، أو الامتدادات الطويلة أو الانحدارات الشديدة.

موضع أنابيب الري بالنسبة للنباتات أمر يعتمد على كل من عمليات الزراعة المتوقعة، المسافات بين المنقطات، معدل تصرف المنقط، حجم حيز الجذور، الخصائص الهيدروليكية للتربة. وبشكل عام، فإنه في حالة المحاصيل الصفية يتم وضع أنبوب الري في حدود ما بين ٠,٠٥ إلى ٠,١٠ م من النبات من أجل استنبات البذور والزراعة. أما موضع أنابيب الري في حالة المحاصيل الدائمة فيمكن أن يتراوح ما بين ٠,١ و٢ م على الرغم من أن أغلبها يقع في حدود ٠,٥ من صف النباتات. ويمكن تحريك أنبوب الري كلما ازداد نضج النبات. كما يمكن أيضاً تعليق أنابيب الري أعلى سطح الأرض في حالة المحاصيل المعرَّشة (المتشابكة) مما يسمح بصيانة أيسر وبمكافحة ايسر للحشائش الضارة، ويتلف أقل من جراء العمليات الميكانيكية.

أما المسافات الفاصلة بين خطوط أنابيب التنقيط فتعتمد على كل من نوعية المحصول المراد ريه، والامتداد الجانبي لحيز جذور المحصول، وإعادة توزيع الماء في

التربة. ونظم الري في المناطق الرطبة قد تتطلب أن يتم تبليل نسبة أكبر من حيز الجذور لملاءمة الخصائص الجذرية للمحصول ولزيادة فعالية امتصاص الماء والعناصر الغذائية. أما كرمات العنب والأشجار ذات المسافات الواسعة فبها بشكل نمطي واحد أو اثنان من خطوط التنقيط لكل صف نباتات. أما أنواع التربة الرملية ذات الحركة الجانبية القليلة بالإضافة إلى المساحات المعرضة للانجراف بفعل الرياح والمياه السطحية فقد تستلزم العديد من خطوط أنابيب التنقيط أو تستلزم استخدام الرشاشات الصغيرة لتغطي نسبة كبيرة من حيز الجذور.

(١٧,٣,٥) اختيار المنقطات والمسافات بينها

إن اختيار نوعية أداة تنقيط الماء يعمل على تحديد الكثير من الخصائص التشغيلية لنظام الري الدقيق. فعلى سبيل المثال، المنقطات ذات السريان المضطرب داخل مساراتها هي شائعة الاستخدام لأن لها قطراً هيدروليكياً مكافئاً يبلغ ٠,٧٥ مم ومن ثم فإن احتمالية انسدادها منخفضة.

ولابد من اختيار المسافات بين المنقطات بحيث يتم ريّ حجم كاف من حيز الجذور لتوفير الاحتياجات المائية للمحصول، فالنباتات منخفضة الكثافة، مثل المحاصيل الشجرية، تحظى بالعديد من المنقطات لكل شجرة مفردة، ولكن يمكن للمسافات بين المنقطات أن تكون مرنة طالما يتم ري حجم كاف من حيز الجذور (أي أكبر من ٢٥٪ في المناطق الجافة، وأكبر من ٥٠٪ في المناطق الرطبة). أما بالنسبة للمزروعات عالية الكثافة مثل المحاصيل الصفية، فنجد أن المجموع الجذري لها يتداخل فيما بينها على امتداد صف النباتات، ولابد من أن يتم استخدام منقطات ذات مصادر نقطية على مسافات متقاربة، أو نظم ري ذات مصادر خطية للماء، وذلك لإضافة الماء بشكل منتظم على امتداد طول صف النباتات.

(١٧,٣,٦) احتمالية انسداد المنقطات

إن نظم الري الدقيق تنفرد وتتميز جميعها بكل من معدلات إضافة الماء المنخفضة، والضغوط المنخفضة المميزة، وفتحات الفوهات الصغيرة، وتتسبب جميعها

أيضاً في خلق مشكلات انسداد للمنقطات. واختيار كل من النوع والحجم الملائمين من المنقطات هو أمر سيعمل على خفض احتمالية انسدادها، وعلى الرغم من أن كل أنواع المنقطات يمكن أن تتعرض للانسداد إما بشكل كلي أو جزئي. ولن يظهر سوى القليل من الانسداد عندما يتم تطبيق استخدام ماء الري بترشيح ومعالجة ملائمة للماء.

وحين يتم التعامل مع عدد من المنقطات باعتبارها وحدة واحدة - مثل العديد من المنقطات التي يتم تجميعها سويا لريّ شجرة واحدة - فإن انتظامية توزيع الماء ستتحسن أكثر بالمقارنة باستخدام منقط واحد لكل شجرة (Wu *et al.*, 1988b). ويمكن السيطرة على التفاوت بين النظام في حدود ١٠٪ حين يكون مستوى الانسداد معدوما وحين يتم إقران اثنين من المنقطات على الأقل سويا في الوحدة الواحدة.

ويمكن تقليل أثر الانسداد على انتظامية إضافة الماء في الحقل إلى الحدّ الأدنى من خلال استخدام مسافات متقاربة بين المنقطات أو من خلال تجميع المنقطات في وحدات (Bralts *et al.*, 1987b). وهناك دراسة خاصة بالانسداد العشوائي المتواصل (Wu *et al.*, 1991) قد أوضحت أنه حتى مع وجود نسبة انسداد إجمالية تبلغ ما بين ٢٠٪ إلى ٣٠٪، يكون هناك فقط ١٪ من الانسداد يتكون في ما بين أربعة إلى خمسة منقطات منسدّة متتابعة. وحين تكون معاملات التغير في الخصائص الهيدروليكية والمصنعية كليهما أقل من ١٠٪، مع وضع المنقطات في مجموعات مكونة من أربعة منقطات لكل شجرة، فإن ما بين ١٠٪ إلى ٢٠٪ من الانسداد العشوائي سيظل يحتفظ بمعامل تغير (CV) يبلغ ما بين ١٧٪ و٢٥٪ على التوالي (Wu, 1993b). أما بالنسبة للمحاصيل الصفية عالية الكثافة، حين تكون معاملات التغير في الخصائص الهيدروليكية والمصنعية كليهما أقل من ١٠٪، والمسافة بين المنقطات تساوي نصف قطر المساحة المبللة، فعندئذ فإن انسداداً بنسبة ما بين ١٠٪ إلى ٢٠٪ سينتج عنه معامل تغير CV إجمالي يبلغ ما بين حوالي ٢٠٪ إلى ٣٠٪ على التوالي.

وقد تم استخدام تقنية تراكمية (Wu *et al.*, 1989) لتقييم مدى الانتظامية الجزئية على امتداد طول الخط الفرعي من خلال إضافة أنماط ماء التربة من كافة المنقطات على

مسافات معينة متنوعة. وقد أوضحت الدراسة أن حالات الانسداد الناشئة عن مسافات المنقطات كانت هي العامل الأكثر أهمية في التأثير على الانتظامية الجزئية. وقد أوضحت دراسة واي (Wu (1993a أن تجميع المنقطات يعتبر أمراً هاماً بقدر المسافة بين المنقطات. أما كل من التغير الهيدروليكي التصميمي والمصنعي، كان أقل أهمية من عوامل الانسداد والتجميع في وحدات، والتباعد بين المنقطات، طالما ظلت عوامل تغيرها الفردية أقل من ١٠٪.

ولم تكن أشكال بلل التربة، ولا توزيعات الانسداد، ذات أهمية كبيرة حين كانت أشكال بلل التربة تتداخل بنسبة ٥٠٪ على امتداد الخط الفرعي. وعندما نجد أن التصميم الهيدروليكي لنظام الري بالتنقيط يعتمد على نسبة تغير في معدل تصرف المنقط يبلغ ٢٠٪، فإنه يمكن حينئذ تحقيق معامل انتظامية يبلغ ٩٠٪، ٧٠٪ لنسبتي الانسداد البالغة ٠٪، ٢٠٪ على التوالي، طالما أن المسافة بين المنقطات قد تم تصميمها بقدر يساوي ٠,٥ من قطر البلل للتربة (Wu, 1993b).

(١٧,٤) هيدروليكا المنقطات واختلاف تصميم المنقطات

إن العلاقة الأساسية بين معدل تصرف المنقط وضغطه تعطيها المعادلة التالية:

$$q = c\,h^{x} \qquad (١٧,١)$$

حيث إن:

q = معدل التصرف.

c = معامل تصرف المنقط.

h = ضاغط الضغط.

x = أُسّ تصرف المنقط.

ويتم استخدام القيمة x في اختيار المنقط ؛ لأنها تميز نوعية التصرف في المنقط وتتراوح ما بين ١ وما يقارب الصفر، وحين تكون قيمة x تساوي ١ يكون المنقط من منقطات السريان الطبقي، بينما تكون قيمة x تساوي في حدود ٠,٨٥ بالنسبة لأنابيب الري الدقيقة، وتبلغ ٠,٦٥ للمنقطات ذات المسار الطويل أو الحلزونية، وتبلغ ٠,٥ للمنقطات ذات السريان المضطرب بشكل تام، وحوالي ٠,٤ للمنقطات الدوامية، وتبلغ ما يقارب الصفر للمنقطات المعادلة للضغط بشكل تام. وبالنسبة لتغير هيدروليكي معطى، فسوف يظهر تغير أقل في معدل التصرف مع المنقطات ذات السريان المضطرب مقارنة مع المنقطات ذات السريان الطبقي. وحين يعتمد التصميم الهيدروليكي على تغير في الضغط يبلغ ٢٠٪ في نظام الري الدقيق، فإن المنقطات ذات السريان المضطرب بشكل تام (حيث x تساوي ٠,٥) ستنتج تغيراً في معدل تصرف المنقط يبلغ حوالي ١٠٪ فقط، في حين أن منقطات السريان الطبقي (حيث x تساوي ١,٠) ستنتج تغيراً في معدل تصرف المنقط يبلغ ٢٠٪.

(١٧,٤,١) هيدروليكا المنقطات ذات الفوهة

إن معدل التصرف من الفوهة أو من ذات المسار القصير يحدده كل من الضغط الهيدروليكي داخل الخط الفرعي عند الفوهة وكذلك أبعادها، وحين يكون مسار السريان ثابتاً، وتكون مساحة المقطع العرضي للسريان ثابتة، فإن معدل سريان المنقط سيتأثر بالضغط الهيدروليكي فقط.

ويمكن التعبير نظرياً عن معدل السريان من المنقط ذات الفوهة أو المسار القصير بالمعادلة التالية:

$$q = c_1 \, a \sqrt{2 g h} \qquad (١٧,٢)$$

حيث إن:

q = معدل تصرف المنقط.

C_1 = معامل التصرف.

a = مساحة المقطع العرضي للتصرف.

g = العجلة الناتجة عن الجاذبية.

h = ضاغط الضغط عند قاعدة المنقط.

وحين تكون مساحة المقطع العرضي ثابتة، يمكن عندئذ إعادة ترتيب المعادلة رقم (١٧,٢) كدالة أسية بسيطة مماثلة للمعادلة رقم (١٧,١) كالتالي:

$$q = c\,h^{0.5} \qquad (١٧,٣)$$

حيث إن C هو معامل تصرف المنقط، ويساوي $c_1\, a \sqrt{2g}$

(١٧,٤,٢) هيدروليكا أنابيب التنقيط الدقيقة

الأنبوب الدقيق هو أنبوب صغير، وتعتبر هيدروليكا السريان في الأنابيب الدقيقة هي نفس هيدروليكا للسريان في الأنابيب، وبالتالي، يمكن التعبير عن الانخفاض في الطاقة بسبب الاحتكاك بواسطة دالة أسية بسيطة:

$$h = k\,\frac{q^m}{D^n}\,L \qquad (١٧,٤)$$

حيث إن:

h = فاقد الضاغط نتيجة للاحتكاك، وهو أيضاً ضاغط الضغط عند مدخل الأنبوب الدقيق.

K = معامل تصرف المنقط.

q = تصرف المنقط.

m = أس معدل التصرف (q)، (وقيمة m تساوي ١ للسريان الطبقي، ٢ للسريان تام الاضطراب، ١,٧٥ للسريان المضطرب في أي أنبوب أملس).

D = القطر الداخلي.

n = أس القطر.

L = طول الأنبوب الدقيق.

ويمكن إيجاد تصرف الأنبوب الدقيق من خلال إعادة ترتيب المعادلة رقم (١٧,٤) على النحو التالي:

$$q = \left(\frac{D^n}{K\,L}\ h \right)^{\frac{1}{m}} \qquad (١٧,٥)$$

في أي منقط أنابيب دقيقة يكون فيها كل من الطول L والقطر D ثابتين، فغالباً ما يتم تقديم كل من معدل تصرف المنقط وضاغط الضغط الهيدروليكي لها في صورة دالة أسية بسيطة (المعادلة رقم ١٧,١) حيث يكون المعامل C ثابتاً، $x = 1/m$، وتبلغ قيمته ٠,٥ للسريان المضطرب، و١ للسريان الطبقي. واعتماداً على ظروف السريان، فإن x ستكون ما بين ٠,٥ و١,٠.

(١٧,٤,٣) هيدروليكا المنقطات ذات المسار الطويل والمتعرج

إن العلاقة بين معدل التصرف q وضاغط الضغط h، للمنقطات ذات المسار الطويل (بما يشمل المنقطات ذات المسارات الدورانية أو المتعرجة) والمنقطات ذات السريان المضطرب، يمكن التعبير عنها بنفس العلاقة المذكورة سابقاً. ومعاملاً الدالة الأسية وهما c و x للمنقطات المفردة ذات المسار الطويل أو المتعرج، يمكن تحديدهما من خلال الاختبار الهيدروليكي المعملي. ويمكن أن تتفاوت قيم x ما بين ٠,٥ و ١,٠، ولكنها بشكل نمطي من ٠,٦٥ إلى ٠,٨٥.

(١٧,٤,٤) هيدروليكا المنقطات المعادلة للضغط

عندما يتم تصميم أحد المنقطات بحيث تقل مساحة المقطع العرضي مع زيادة الضغط فإن:

$$a = b\,h^{-y} \qquad (١٧,٦)$$

حيث إن a هي مساحة المقطع العرضي لمسار سريان المنقط، أو للفوهة، أو للأنبوب الدقيق، و b و y هما معاملات. وبإضافة المعادلة رقم (١٧,٦) داخل المعادلة رقم (١٧,٢) مع إعادة الترتيب، يمكن عندئذ التعبير عن معدل سريان المنقط وضغط الماء على النحو التالي:

$$q = C_2\,h^{0.5-y} \qquad (١٧,٧)$$

حيث إن C_2 هي إحدى المعاملات. والمعادلة رقم (١٧,٧) تبين أن الأس 0.5-y يمكن ان يكون اصغر من ٠,٥، مما يشير إلى تأثير منخفض لضاغط الضغط على معدل تصرف المنقط بالمقارنة بمنقطات السريان المضطرب، فإذا كانت قيمة y تساوي ٠,٥ فإن الأس سيساوي الصفر، ولن تظهر أية تغيرات في معدل سريان المنقط، وحين يحدث ذلك، فإن أي زيادة في ضغط الماء سوف تسبب انخفاضاً في مساحة المقطع العرضي للسريان، والذي يوازن (أو يعادل) بالضبط الزيادة في الضغط، وسيصبح المنقط موازناً للضغط بشكل تام. وعلى كل الأحوال، إذا كانت قيمة y أكبر من ٠,٥، فستكون قيمة الأس سالبة، وسوف يقل معدل السريان مع تزايد الضغط. ويمكن كذلك تطبيق مفهوم معادلة الضغط على المنقطات ذات الأنابيب الدقيقة بطريقة مماثلة.

(١٧,٤,٥) التغير في تصرف المنقطات

يتميز الري الدقيق بتطبيقات متواترة للماء بمعدلات إضافة منخفضة، ومن ثم، فحتى التغيرات الصغيرة في حجم معدل تصرف أداة التنقيط قد تمثل بشكل تراكمي تغيرات كبيرة نسبياً في الماء الكلي المضاف موسمياً. والعوامل التي قد تؤثر على معدل تصرف المنقط تشمل التغير في خصائص التصنيع (التغير المصنعي)، وتأثيرات درجة

الحرارة، والانسداد، وتهالك المنقط بفعل الزمن، والتغيرات في المناسيب، وحالات الفاقد في التجميعات الوتدية للرشاشات الدقيقة.

(١٧,٤,٥,١) التغير المصنعي في تصرفات المنقطات

العلاقة الأساسية بين سريان المنقط q، وضغط الماء h، (المعادلة رقم ١٧,١) توضح أنه إذا لم يكن هناك تغير في الضغط في نظام الري الدقيق، فإن كافة تصرفات المنقطات لابد أن تكون ثابتة، وستكون قيمة التغير في تصرف المنقطات تساوي صفراً. وعلى كل الأحوال، في الوضع الحقلي الفعلى، سيكون هناك دوماً فروق في معدلات تصرف المنقطات حتى في ظل وجود ظروف ضغط ماء ثابتة، وهذا التغير تسببه أخطاء صغيرة في عملية التصنيع ينتج عنها فروق في معدلات التصرف بين المنقط والذي يليه. وأي انحراف في شكل أو مساحة ممر التصرف عن الحجم القياسي، سوف يسبب تغيراً في معدل تصرف المنقطات.

والتغير المصنعي هو تغير في معدلات تصرف المنقطات بين عينة عشوائية من المنقطات التي تعمل بنفس قيمة الضغط، ويتم التعبير عنه إحصائيا على أنه معامل تغير معدل سريان المنقط CV_M، وهو الانحراف القياسي في معدل تدفق المنقط (S)، مقسوماً على متوسط قيمة تصرفات عينة المنقطات $\bar{q}$:

$$CV_M = \frac{S}{\bar{q}} \times 100 \qquad (١٧,٨)$$

وتوضح نتائج البحوث أن معامل التغير لمنقطات الري الدقيق يتراوح بشكل عام ما بين ٣٪ و٢٠٪ (Solomon, 1979). وكل من الرشاشات الدقيقة، والرذاذات الدقيقة، والرشاشات الصغيرة، جميعها عادة ما تحظى بتفاوتات منخفضة في معامل التغير المصنعي للسريان تبلغ أقل من ٣٪، على الرغم من أنه قد يكون هناك فروق كبيرة في انتظامية أشكال إضافة الماء. والمنقطات ذات قيم معامل التغير CV_M الأكبر من ٠,٢٠ ليست مقبولة الاستخدام عند تصميم نظم الري الدقيق.

(١٧,٤,٥,٢) تأثير درجة الحرارة على تصرف المنقط

إن درجة حرارة الماء في خط أنابيب الري الدقيق ستتأثر بدرجة حرارة الهواء والتربة المحيطين بخط الأنابيب، كما أن كلا من الخطوط الفرعية المكشوفة والماء سيتعرضان للسخونة بفعل الأشعة الشمسية، وقد أبدت درجة حرارة الماء في الخطوط الفرعية زيادة قدرها ما بين ١٢ درجة مئوية إلى ١٧ درجة مئوية في الشمس الساطعة (Gilad *et al.*, 1968; Parchomchuk, 1976).

وتأثير درجة الحرارة على نظام الري الدقيق يمكن دراستها على جزأين: التأثير الواقع على معدل تصرف المنقط، والتأثير الواقع على الخصائص الهيدروليكية للخط الفرعي، والتأثير الأول يعتمد على تصميم وشكل المنقط، أما التأثير الثاني فيعتمد على وضعية الاحتكاك في خط الأنابيب والذي يسببه الزيادة أو النقصان في لزوجة الماء كنتيجة للتغير في درجة الحرارة. ونجد أن الخصائص الهيدروليكية للخط الفرعي تعمل على تحديد كل من توزيع الضغط وحركة الماء في النظام، وهو ما يؤثر بدوره على التفاوت في درجة الحرارة داخل نظام الري الدقيق، وسوف تتأثر معدلات تصرف المنقط بدرجة حرارة الماء عند قاعدة المنقطات على امتداد طول خطوط الأنابيب الفرعية.

وتأثير درجة الحرارة على معدل تصرف المنقط يعتمد على نوعية المنقط (Keller and Karmeli, 1974; Parchomchuk, 1976; Moser, 1979; Zur and Tal, 1981; Wu and Phene, 1984; Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999). ويمكن اعتبار تأثير درجة الحرارة أمراً غير ذي أهمية عند استخدام المنقطات ذات السريان المضطرب، وذات الفوهة أو المتداخلة التدفق (Wu and Phene, 1984; Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999). أما المنقطات ذات السريان الطبقي ذي المسار الطويل فتبدي معدل تصرف متزايداً مع ازدياد درجة الحرارة، أما المنقطات الدوامية فتبدي معدل تصرف متناقص مع ازدياد درجة الحرارة (Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999). ويمكن التعبير عن العلاقة بين معدل تصرف المنقط والتغير في درجة الحرارة في صورة دالة خطية.

ويمكن التعبير عن شكل درجة الحرارة على امتداد طول الخط الفرعي كدالة أسية (Solomon, 1984) أو كخط مستقيم حين يتم اعتبار درجة حرارة النقطة الأخيرة قد سببها تأثير النهاية الطرفية ويتم إهماله (Wu and Phene, 1984). وهناك تقدير نظري للانخفاض في الاحتكاك على امتداد الخط الفرعي، مع ميل خطي لدرجة الحرارة، وقدّ تبين أن شكل ميل خط الطاقة لا يتأثر (Peng *et al.*, 1986).

(١٧,٤,٦) التغير في المنقطات

إن أس المنقط x يؤثر هو الآخر في العلاقة ما بين التغير في تصرفات المنقطات q_{var} والتغير في الضغط h_{var} في نظام الري الدقيق. ويمكن اشتقاق ذلك من المعادلة رقم (١٧,١) (Wu *et al.*, 1979) على النحو الآتي:

$$q_{var} = 1 - (1 - h_{var})^x \qquad (١٧,٩)$$

حيث إن q_{var} يمكن ببساطة التعبير عنها على أنها مدى التغير (Wu and Gitlin, 1974).

$$q_{var} = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}} \qquad (١٧,١٠)$$

حيث إن q_{max} هو أقصى معدل تصرف للمنقطات، و q_{min} هو أدنى معدل تصرف للمنقطات. والتغير في الضغط h_{var} يتم اشتقاقه بنفس أسلوب اشتقاق التغير في معدل تصرف المنقطات، ولكن ينبغي أن يظل في حدود ±١٠٪ من متوسط ضغط المنقط.

والمعادلة رقم (١٧,٩) توضح أن قيمة تغير معدل تصرف المنقط تبلغ الصفر عندما تكون x = صفر، بغض النظر عن تغير الضغط في النظام. وعندما تكون x = ١، سيكون لتغير معدل تصرف المنقط نفس قيمة تغير الضغط. وهذا يشير إلى أنه عندما تكون قيمة التغير في الضغط h_{var}، هو ٢٠٪، فإن تغير معدل تصرف المنقط لمنقطات السريان الطبقي ستكون قيمته هو الآخر ٢٠٪. ولكن، بالنسبة للمنقطات ذات

السريان المضطرب، نجد أن x = ٠,٥ ، ونجد أن تغيراً في الضغط قيمته ٢٠٪ في نظام الري الدقيق، سوف ينتج تغيراً في معدل تصرف المنقط قدره حوالي ١٠٪.

(١٧,٤,٦,١) التغير الكلي

حقلياً تعزى التغيرات في معدل تصرف المنقطات إلى ائتلاف كل من التغير الهيدروليكي والتغير المصنعي، والعلاقة بينها قد تم تحديدها في البداية بشكل إحصائي (Bralts *et al.*, 1981; Bralts *et al.*, 1987a)، ثم تم التحقق فيما بعد من صحتها من خلال المحاكاة بالحاسب الآلي (Wu *et al.*, 1985). ويمكن التعبير عن التغير الكلي في معدل تصرف المنقط، والذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي، والتغير المصنعي بالمعادلة:

$$(CV)^2_{HM} = (CV)^2_H + (CV)^2_M \qquad (١٧,١١)$$

حيث إن $(CV)_{HM}$ هو معامل التغير في معدلات تصرف المنقطات الذي يسببه التأثيرات المشتركة لكل من التغير الهيدروليكي والتغير المصنعي، $(CV)_H$ و $(CV)_M$ هما معامل التغير في معدلات تصرف المنقطات بسبب التصميم الهيدروليكي والاختلاف المصنعي على التوالي.

(١٧,٤,٦,٢) تأثير التجميعات

عندما يتم تجميع عدد من المنقطات سوياً واعتبارها وحدة واحدة (مثل عدة منقطات لري شجرة واحدة)، فإن انتظامية إضافة الماء للشجرة ستتحسن (Wu *et al.*, 1988b)، ويعتمد هذا التحسن على حجم التغير في معدل تصرف المنقط والذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي. أما في الحالة التي يكون فيها سبب التغير في معدل تصرف المنقط هو التغير الهيدروليكي فقط، ويكون فيها قيمة الاختلاف المصنعي تساوي صفراً، عندئذ لن تكون هناك أية تأثير للتجميع في وحدات، أي أن:

$$[(CV)_H]_g = (CV)_H \qquad (١٧,١٢)$$

حيث إن $[(CV)_H]_g$ هو معامل التغير لمعدل تصرف المنقط الذي تسببه الخصائص الهيدروليكية بعد التجميع في وحدات، و $(CV)_H$ هو معامل التغير لمعدل تصرف المنقط الذي تسببه الخصائص الهيدروليكية فقط.

أما في الحالة التي يكون فيها سبب التغير في معدل تصرف المنقط هو الاختلاف المصنعي فقط، ويكون فيها قيمة التغير الهيدروليكي تساوي صفراً، عندئذ فإن معدلات تصرف المنقطات ستتبع توزيعاً طبيعياً، وسيتم التعبير عن تأثير التجميع في وحدات بالعلاقة:

$$[(CV)_M]_g = \frac{(CV)_M}{\sqrt{N}} \qquad (١٧,١٣)$$

حيث إن:

$[(CV)_M]_g$ = معامل التغير في معدل تصرف المنقطات الذي يسببه الاختلاف المصنعي بعد التجميع في وحدات.

$(CV)_M$ = معامل التغير في معدل تصرف المنقطات الذي يسببه الاختلاف المصنعي فقط.

N = عدد المنقطات المجمعة سوياً في وحدة واحدة.

وعندما يتأثر معدل تصرف المنقط بكل من التغير الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي معا، عندئذ يمكن التعبير عن تأثير التجميع في وحدات من خلال معادلة الانحسار (Wu *et al.*, 1 989):

$$[(CV)_{HM}]_g = \frac{A}{\sqrt{N}} + 1.2487B - 5.3935B^2 + 7.6749B^3 + 2.3113AB \qquad (١٧,١٤)$$

$$R^2 = 0.99$$

حيث إن :

$[(CV)_{HM}]_g$ = معامل التغير في معدل تصرف المنقطات الذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي ، والاختلاف المصنعي بعد التجميع في وحدات.

$$A = (CV)_M$$

$$B = (CV)_{HM} - (CV)_M$$

N = عدد المنقطات المجمعة سوياً في وحدة واحدة.

والمعادلة رقم (١٧,١٤) يمكن استخدامها على حتى ما يقارب ١٧ منقطاً لكل وحدة واحدة.

(١٧,٤,٧) تأثير الانسداد على التصميم

من المشكلات الرئيسة التي نواجهها في الري بالتنقيط مشكلة انسداد المنقطات ، ويمكن لانسداد المنقط أن يؤثر سلباً على معدل تطبيق الماء وعلى انتظامية توزيع الماء ، والتأثيرات المشتركة لكل من التغير في الخصائص الهيدروليكية ، والاختلاف المصنعي ، إلى جانب مشكلة الانسداد قد تم تقييمها إحصائياً (Bralts *et al.,* 1981) ثم التحقق من صحتها من خلال المحاكاة بالحاسب الآلي (Wu *et al.,* 1988a). ويمكن التعبير عن معامل التغير لمعدل تصرف المنقط الذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي ، والاختلاف المصنعي ، ومشكلة الانسداد بالمعادلة التالية :

$$(CV)^2_{HMP} = \frac{(CV)^2_{HM}}{1-P} + \frac{P}{1-P} \qquad (١٧,١٥)$$

حيث إن : $(CV)_{HMP}$ هو التغير الكلي في معدل تصرف المنقطات والذي يحدث بسبب العوامل الثلاثة : الخصائص الهيدروليكية ، والاختلاف المصنعي ، والانسداد (الانسداد الكليّ فقط) ، و P هو احتكاك المنقطات المنسدة بشكل كليّ. وفي الحالة التي

تكون فيها قيمة $(CV)_{HM}$ تساوي صفراً، عندئذ يمكن ببساطة التعبير عن معامل التغير والناشئ عن الانسداد فقط، باعتباره دالة في P :

$$(CV)_P = \sqrt{\frac{P}{1-P}} \qquad (17,16)$$

حيث إن $(CV)_P$ هو معامل التغير في معدل تصرف المنقط الذي تسببه مشكلة الانسداد وحدها. والمعادلة رقم (١٧,١٦) توضح أن الانسداد يمكن أن يؤثر بشكل كبير في الانتظامية، وعلى سبيل المثال، انسداد بنسبة ١٠٪ سينتج عنه معامل $(CV)_P$ يساوي ٣٣٪ لمعدل تصرف المنقط، في حين أن قيم المدى لكل من $(CV)_H$ و $(CV)_M$ هي ما بين ٠,٠٣ إلى ٠,٠٧، وما بين ٠,٠٣ إلى ٠,٢٠ على التوالي لنفس الأثر.

وبشكل مشابه لوضعية تجميع المنقطات في وحدات، فهناك تقييم للانسداد المتواصل أجراها واي وآخرون Wu *et al.* (1991) قد أوضح أن تأثير أربعة أو أكثر من المنقطات المنسدة سويا هو أقل من ١٪، في حالة الانسداد بنسبة ١٠٪ و ٢٠٪ على التوالي. ولذلك، إذا كانت هناك أربعة منقطات أو أكثر تروي شجرة واحدة، فإن فرص أن لا تنال الشجرة أي ماء ري بسبب مشكلة الانسداد، ستنخفض كثيراً.

(١٧,٥) تصميم نظام الري الدقيق

(١٧,٥,١) المعايير المعتمدة على الأداء

يمكن البدء في حسابات التصميم بمجرد تحديد كل من أداة التنقيط، ومتوسط معدل تصرف المنقط المطلوب، والمسافات بين المنقطات، والاختلاف بينها، والفاقد المسموح به في الضغط، وغيرها من المعايير الأخرى. ويتم تصميم نظم الري الدقيق بناء على انتظامية توزيع إضافة الماء مع الأخذ في الاعتبار الاحتياجات المائية للمحصول. وهناك اثنان من اعتبارات الانتظامية الأساسيان يتم استخدامهما مع التصميمات المعتمدة على الأداء، ألا وهما انتظامية التنقيط في النظام، والانتظامية

الجزئية لماء الري في الحيز الجذري للمحصول. وعلى كل الأحوال، نجد أن إجراءات التصميم هي بشكل أساسي لا تتغير بغضّ النظر عن معايير الانتظامية المنتقاة.

وانتظامية الأداة (EU) تصف كيف يمكن للنظام إجمالا أن يقوم بشكل منتظم بتوزيع الماء من كل منقط في الحقل، وكيف أنه يجب أن يتم تصميمه لتبلغ الانتظامية على الأقل ٨٠٪ (و٩٠٪ في حالة إضافة الكيماويات أثناء الري). ومعايير التصميم التي تؤثر على انتظامية تنقيط النظام تشمل كلا من التصميم الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي، ودرجة الحرارة، والانسداد، وعدد المنقطات لكل نبتة. وعادة ما تعتبر انتظامية تنقيط النظام هي الأكثر ملاءمة لتصميم نظم الري الدقيق المصممة لري الأشجار ذات المسافات البينية الواسعة.

أما الانتظامية الجزئية (الحيزية) فهي قياس توزيع ماء الري في الحيز الجذري للمحصول على امتداد الحقل، ومعايير التصميم التي تؤثر على الانتظامية الجزئية تشمل كلا من انتظامية النظام، وأنماط البلل للتربة، والمسافات بين المنقطات. وتعتبر الانتظامية الجزئية أمراً ذا أهمية أكبر من انتظامية النظام لري المزروعات عالية الكثافة، وغالباً ما يتم استخدامها مع التصميمات التي تتداخل فيها أنماط البلل الخاصة بالمنقطات.

وقياسات الانتظامية الأخرى، والتي قد تكون مفيدة أيضاً كمعيار للتصميم تشمل كلا من معامل كرستانس (Christiansen's) للانتظامية CU، ومعامل التغير المصنعي CV. ومقاييس الانتظامية هذه ترتبط في علاقات تعبر عنه معادلات الانحسار التالية (Wu and Irudayaraj, 1987):

$$CU = 1.0865\,CV \qquad (R^2 = 0.999) \tag{١٧,١٧}$$

$$CV = -0.0095 + 0.4288\,q_{var} \qquad (R^2 = 0.97) \tag{١٧,١٨}$$

$$CU = 1.0085 - 0.3702\,q_{var} \qquad (R^2 = 0.97) \tag{١٧,١٩}$$

والارتباط العالي فيما بين أي زوجين من مقاييس الانتظامية والذي يتم التعبير عنه بالمعادلات رقم (١٧,١٧) ورقم (١٧,١٨) ورقم (١٧,١٩)، يشير إلى أن قياسات الانتظامية الثلاثة جميعها يمكن أن يتم استخدامها كمعايير للتصميم الهيدروليكي. وهذا يبرر استخدام القيمة البسيطة q_{var} للانتظامية، وهي التي يتم تحديدها بواسطة كل من الحدّ الأقصى والحدّ الأدنى فقط لمعدلات تصرف المنقطات في خط الأنابيب الفرعي، أو في الوحدة الفرعية.

(١٧,٥,٢) انتظامية التنقيط

المعيار الهندسي رقم EP405.1 (ASAE, 2005b) الصادر عن الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE، يقوم بتعريف انتظامية التنقيط (EU)، والتي غالباً ما يتم الإشارة إليها أيضاً على أنها انتظامية التوزيع (DU) (Burt and Styles, 1994)، لنظام الري الدقيق من أجل أغراض التصميم، على النحو التالي:

$$EU = 100\left[1 - \left(1.27 \times \frac{CV_M}{\sqrt{n}}\right) \times \left(\frac{Q_m}{Q_a}\right)\right] \qquad (١٧,٢٠)$$

حيث إن CV_M هو معامل الاختلاف المصنعي للمنقطات ذات مصادر التوزيع النقطية للماء أو المنقطات ذات مصادر التوزيع الطولية (الخطية) للماء معبراً عنه كنسبة مئوية. وعلى كل الأحوال، من الملائم أن نستخدم ممثلاً مشتركاً CV يشمل القيم المعبر عنها سابقاً إلى جانب عوامل أخرى مثل الصرف غير المستوي (خلال الإغلاق)، والمسافات بين المنقطات غير المتساوية في حسابات التصميم الأولية؛ لأن القيمة الفعلية لانتظامية التنقيط EU عادة ما ستكون أقل من انتظامية التنقيط EU في التصميم. أما Q_m فهو الحدّ الأدنى لمعدل التصرف عند الحدّ الأدنى للضغط في النظام، أما Q_a فهو متوسط تصرف المنقطات (أو التصرف التصميمي) عند متوسط الضغط (أو الضغط التصميمي)، و n هو عدد المنقطات لكل نبتة أو لكل قطر نطاق جذري للنباتات

مقسوماً على طول معطى لخط الأنابيب الفرعي (وهو غالباً ما يساوي ١)، والعامل الأول يمثل تغير معدل التصرف نتيجة للتغير في خصائص الصناعة (أو التغير المشترك)، والعامل الثاني Q_m/Q_a يعبر عن التغير الناتج عن الاختلافات في ضغط النظام. ولابد من ملاحظة أنه لأغراض التقييم، فإن $EU= 100\ (q_{LQ}/q_a)$، في حين أن q_{LQ} هو متوسط التصرف المقاس في الربع الأقل من القيم الحقلية المقاسة، بينما q_a هو متوسط كل القيم المقاسة، أما معامل الارتباط (CV) فيرتبط أيضاً بعلاقة مع انتظامية التنقيط (EU) من خلال المعادلة التالية:

$$CV = 0.77\times(1-EU) \quad (١٧,٢١)$$

والتوصية العامة هنا هي أن اختيار التغير المشترك للتصرف، ونسبة التغير في التصرف (المعادلة رقم ١٧,٢٠) لابد أن تتسبب دوما في انتظامية تنقيط (EU) تزيد على ٨٠٪، وعلى كل الأحوال، فإن الاختيار الفعلي لقيم كل من CV، وCU، وDU، هو أمر يعتمد على عدد من العوامل تشمل تكلفة النظام، وتكلفة الماء والتكاليف ذات الصلة، وحساسية المحصول (في إنتاجيته وجودته) للإجهادات التي يسببها الري غير المنتظم، والقيمة السوقية للمحصول، والاهتمامات البيئية (مثل تسرب المواد الكيماوية إلى المياه الجوفية). والجدول رقم (١٧,١) يقدم الحدود المقترحة لقيم الانتظامية، لاستخدامها عند التصميم اعتماداً على تلك العوامل.

الجدول رقم (١٧,١). الحدود المقترحة لمعايير التصميم لمختلف التعبيرات عن الانتظامية اعتماداً على شروط متنوعة اقتصادية، وبيئية وتختص بامدادات الماء.

اعتبارات التصميم	CV	CU	EU
ماء وفير مع عدم وجود مشكلات تلوث بيئية.	٢٠٪-٣٠٪	٧٥٪-٨٥٪	٦٠٪-٧٥٪
ماء وفير ولكن اعتبارات الوقاية البيئية مهمة.	١٠٪-٣٠٪	٨٠٪-٩٠٪	٧٥٪-٨٥٪
مصادر مائية محدودة ولكن دون مشكلات بيئية.	١٥٪-٢٥٪	٨٠٪-٩٠٪	٧٠٪-٨٠٪
مصادر مائية محدودة مقرونة بالحاجة إلى وقاية بيئية.	٥٪-١٥٪	٨٥٪-٩٥٪	٨٠٪-٩٥٪

(١٧,٥,٣) التصميم الهيدروليكي للأنابيب الفرعية

إن التصميم الهيدروليكي لوحدة فرعية في نظام الري الدقيق يعتمد على علاقات الطاقة في أنابيب التنقيط، بما يشمل حالات الفاقد بسبب الاحتكاك، والتغيرات في الطاقة بسبب ميول الحقل (Bralts and Segerlind, 1985). ويمكن عمل الحسابات المباشرة لضغوط الماء على امتداد خط الأنابيب الفرعية أو في الوحدة الفرعية، باستخدام أسلوب خط ميل الطاقة (Feng and Wu, 1990; Wu and Gitlin, 1974). ويمكن تحديد كافة معدلات تصرف المنقطات على امتداد خط الأنابيب الفرعية وفي خط الأنابيب الموزعة، اعتماداً على ضغوط الماء المكافئة على امتداد الخطوط الفرعية والخطوط الموزعة. وعندما يتم تحديد كافة معدلات تصرفات المنقطات، يمكن عندئذ التعبير عن التغير في معدل تصرف المنقط بالمعادلة رقم (١٧,١٠).

وبوجه عام، فإن التغير في معدل تصرف المنقط q_{var} يتم استخدامه في التصميم الهيدروليكي. ومعيار التصميم للتغير في معدل تصرف المنقط q_{var} في تصميم الري بالتنقيط يوصى بأن يكون ما بين ١٠٪ إلى ٢٠٪، وهو ما يكافئ معامل تغير يبلغ ما بين ٠,٠٣٣ إلى ٠,٠٧٦ على التوالي (ASAE Standard EP405.1, ASSE, 2005b). وعلى كل الأحوال، قد يتم استخدام القيم الواردة في الجدول رقم (١٧,١) إذا ما تم تبريرها من أجل التصميم.

والرشاشات الصغيرة غالباً ما يتم تصميمها بأحجام فوهات يزيد قطرها على ١مم وذلك لتقليل الانسداد. وهذه المنقطات عادة ما يمكنها تحقيق معاملات انتظامية نظام في الحقل تزيد على ٩٠٪. وعلى كل الأحوال، فإن أنماط توزيع الماء لهذه الأدوات الفردية يمكن أن تكون متباينة نوعا ما، وهو ما لن يثبته معامل انتظامية يعتمد على معدلات التصرف.

(١٧,٥,٤) التصميم الهيدروليكي للوحدات الفرعية

إن وحدة الري الدقيق الفرعية هي جزء من نظام الري الدقيق عادة يتم تشغيلها بشكل منفصل عن بقية الوحدات الفرعية، ولكن قد يمكن تشغيلها بشكل متزامن مع

وحدات فرعية أخرى. ولأسباب اقتصادية ولأسباب تتعلق بتوافر الماء، غالباً ما يتم تصميم نظم الري الدقيق مكونة من أربعة أو أكثر من الوحدات الفرعية. ومن ثم، فإن كلا من مضخة الري، ومصدر القدرة، ونظام الترشيح، وغيرها من مكونات التزويد بالماء يمكن لها أن تكون أصغر مما لو كان نظام الإنتاج يتم ريّه كوحدة واحدة. وعلى كل الأحوال، يكون من المرغوب أو من الضروري أحياناً تشغيل نظام الري الدقيق بالكامل كوحدة واحدة، مثلما عندما يتم استخدام الرشاشات الصغيرة للحماية من الصقيع / التجمد (Evans *et al,* J988; Evans, 1994)، ولكن ذلك يزيد من تكلفة رأس المال الأساسية؛ لأن الكثير من مختلف مكونات النظام المتنوعة لابد أن تكون أكبر حجما بشكل كبير.

والوحدة الفرعية تتكون من أنبوب ريّ موزع (أو خط توزيع) مع خطوط أنابيب فرعية تقوم بتوزيع الماء من خطوط أنابيب الري الموزعة. ويتم استخدام أحد الصمامات (في العادة صمام لولبي solenoid) عند نقطة الدخول إلى خط أنابيب الري الموزعة للتحكم في إضافة الماء إلى الوحدة الفرعية. وكذلك قد يتم وضع كل من مقياس الضغط، وعداد تدفق، ومنظم ضغط، ومدخل حقن كيميائي عند موقع مدخل خط أنابيب التوزيع إذا اقتضت الحاجة.

وإذا كان هناك العديد من المجموعات الأصغر حجماً في الوحدة الفرعية، فلابد للتصميم من أن يمنع الصرف من القوالب التي على ارتفاع عال مما يسبب توزيعات جائرة في المجموعات الأدنى بواسطة التحكم في الارتفاع أو باستخدام صمامات عدم رجوع محملة بنابض. وهذا أيضاً يوفر ملئاً سريع للأنابيب وانتظامية نظام أفضل، لأن نظام الأنابيب لا يحتاج لأن يتم إعادة ملئه لكل مرة ري.

ويتم توصيل الماء إلى الوحدة الفرعية بواسطة خطوط أنابيب رئيسة أو شبه رئيسة تختلف من الناحية الهيدروليكية كثيراً عن خطوط أنابيب الوحدة الفرعية، وتتكون الوحدات الفرعية من خطوط أنابيب خروج، مع مخارج ذات مسافات بينية متماثلة تعمل على حركة الماء على امتداد أطوالها. وبالمقابل، فإن خطوط الأنابيب

الرئيسة وشبه الرئيسة لها تصرف متماثل على امتداد أطوالها، مما يؤدي إلى حالات فاقد أكبر بسبب الاحتكاك لنفس ذات أقطار الأنابيب ومعدلات التصرف.

ويتم تصميم خطوط أنابيب الوحدات الفرعية لتستوفي اثنين من المعايير هما: الانتظامية العالية، والتكلفة المنخفضة. وعلى كل الأحوال، فإن هذه المعايير غالباً ما تتعارض مع بعضها البعض؛ لأن الانتظامية العالية يتم تحقيقها بواسطة ضغوط متماثلة مع الحد الأدنى للفاقد في الضغط، وهو ما يتم تحقيقه من خلال زيادة حجم الأنابيب، وإضافة المزيد من صمامات التحكم، وغير ذلك من التدابير التي تسبب تكلفة مرتفعة. ولهذا السبب، تم وضع معايير لتحديد درجة مقبولة من انتظامية تطبيق الماء (مثل معيار الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم EP405.1 عام ٢٠٠٥ب). وهذه المعايير قد تم تدوينها مع إدراك أنه من المكلف تحقيق انتظامية عالية، وتعتبر انتظامية التنقيط في حدود ما بين ٧٠٪ إلى ٩٠٪ بوجه عام انتظامية مقبولة (Wu and Irudayaraj, 1992). وقد تكون القيم الأعلى من ذلك قيماً ملائمة مع الأسطح المستوية، حيث إن تحقيق انتظامية أعلى هو أمر أقل تكلفة، في حين أن القيم الأقل من ذلك مقبولة أكثر مع المناطق حادة الانحدار، ما لم يتم استخدام عملية الري الكيميائي.

ولابد من تصميم الوحدات الفرعية مع مراعاة حالات الفاقد في الضاغط في الأنابيب الموزعة والأنابيب الفرعية. ولأن بعضاً من حالات الفاقد في الضاغط في الوحدات الفرعية تظهر في كل من الأنابيب الموزعة والأنابيب الفرعية، وليس من الملائم أن يعتمد التصميم فقط على انتظامية السريان في الأنابيب الفرعية، ما لم يتم ضبط الضغط عند مدخل كل أنبوب فرعي. وهذه الفروق قد تكون ذات أهمية خاصة عندما تكون انحدارات الحقل كبيرة وتكون الأنابيب الموزعة موضوعة أعلى وأسفل المنحدر. ويمكن تصميم الوحدات الفرعية بحيث تشمل كلا من الأنابيب الفرعية والأنابيب الموزعة بواسطة الخطوات التالية:

١- اختيار انتظامية التنقيط أو الانتظامية الحيزية اعتماداً على معايير الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE أو غيرها من المصادر.

٢- حساب تغير معدل التصرف المسموح به داخل الوحدة الفرعية من معادلة انتظامية التنقيط.

٣- حساب تغير الضغط المسموح به داخل الوحدة الفرعية من الخصائص الهيدروليكية للمنقط ومن تغير معدل التصرف المسموح به.

٤- تصميم الخطوط الفرعية باستخدام نسبة (أي ٦٠٪ كتقريب أولي) من قيمة الفاقد المسموح في الضغط داخل الوحدة الفرعية (وهو ما يلائم نسبة الفاقد في الضغط المسموح به لكامل النظام).

٥- تصميم الخطوط الموزعة باستخدام ما يتبقى من الفاقد الرئيسي المسموح به في الوحدة الفرعية، والذي لم يتم استخدامه في تصميم الخطوط الفرعية.

٦- تكرر الخطوات ٤ و٥ في إجراء تجريبي يعمل على تغيير الفرق بين حالات الفاقد في كل من الخطوط الفرعية والخطوط الموزعة، إلى أن يتم الحصول على حل يحقق الحد الأدنى من التكلفة.

ويمكن لحسابات الخطوط الفرعية أن تعتمد على أسلوب ميل خط الطاقة (EGL) أو أسلوب ميل خط الطاقة المعدل (REGL) (Wu, 1992a ، Wu and Yue, 1993). وقد تم تطوير خرائط تصميم لتصميمات الخطوط الفرعية، وتصميمات الخطوط شبه الرئيسة، مع أسلوبي خط ميل الطاقة (EGL) وخط ميل الطاقة المعدل (REGL) البسيطين (Wu and Gitlin, 1974). وأما معايير التصميم للخط الفرعي فيتم حسابها اعتماداً على تصميم معايير انتظامية التنقيط. وكذلك يتم تصميم الوحدات الفرعية باستخدم أسلوب العنصر المنتهي (Bralts and Segerlind, 1985).

أما شروط السريان في كل من الخطوط الفرعية والخطوط الموزعة فتقل بشكل مطرد مع أطوالها، ولكنها يمكن أن تتباين من حيث الحيز اعتماداً على المخطط التفصيلي

(Anyoji and Wu, 1987 ،Howell and Hiler, 1974). أما الخط الفرعي ذو مئات المنقطات، فيجعل عملية الحساب خطوة بخطوة (SBS) لكافة الأقسام عملية شاقة للغاية. وقد تم تطبيق أسلوب ميل خط الطاقة (EGL) لتحديد التغير في الضغط على امتداد طول الخط الفرعي (Wu and Gitlin, 1974). ومفهوم ميل خط الطاقة يقدم حساباً مباشراً لتدفقات المنقطات على امتداد طول الخط الفرعي، لأنه يمكن اشتقاق معادلات بسيطة لتحديد كافة تصرفات المنقطات على امتداد طول الخط الفرعي.

وهناك العديد من البرامج التجارية الجيدة وبرامج الجداول الممتدة المتوفرة من أجل التصميم باستخدام الحاسوب لمثل هذه النظم. وعلى سبيل المثال، تم تطوير برامج حاسوب لتصميم نظم الري الدقيق باستخدم أسلوب العنصر المنتهي (Bralts and Segerlind, 1985) والحسابات التدريجية خطوة بخطوة (Pitts *et al.*, 1986; Meshkat and Warner, 1985). كما تم تطبيق استخدام مفهوم ميل خط الطاقة في تطوير تصميم بمساعدة الحاسوب لأنظمة الري الدقيق (Feng and Wu, 1990).

(١٧,٥,٥) تصميم خطوط الأنابيب الرئيسة وشبه الرئيسة

لابد لخطوط الأنابيب الرئيسة وشبه الرئيسة من أن تقوم بتوصيل القدر اللازم من الماء والطاقة (ضغط) إلى مدخل كل وحدة من الوحدات الفرعية وذلك لاستيفاء معايير انتظامية التنقيط، ولابد لها كذلك من أن تكون معادلة للضغط بشكل لائق حتى تتحمل ضغوط الاندفاع الزائدة، وهذا يتطلب بوجه عام أن تكون سرعات خطوط الأنابيب محدودة عند قيم تعمل على الإبقاء على ضغوط الاندفاع عند مستويات مقبولة (أي ١,٥ م/ث أو أقل).

ومن ثم فإن خطوط الأنابيب الرئيسة يتم تصميمها اعتماداً على المعايير الاقتصادية لاستخدام الأنابيب وملحقاتها التي تستوفي معدلات الضغط المطلوبة. ويكون من المطلوب عمل تحليل لتكلفة استخدام المواد والطاقة، وذلك لتحديد خطوط الأنابيب الأقل تكلفة والمناسبة لمعدل التصرف المطلوب وساعات التشغيل

المطلوبة لكل فترة من فترات التحليل. وهذه التحليلات عادة يتم إجراؤها سنوياً من أجل الخفض التنازلي لرأس المال الأساسي وتكاليف التركيب، ومقارنتها جميعاً بتكاليف التشغيل السنوية المقدرة.

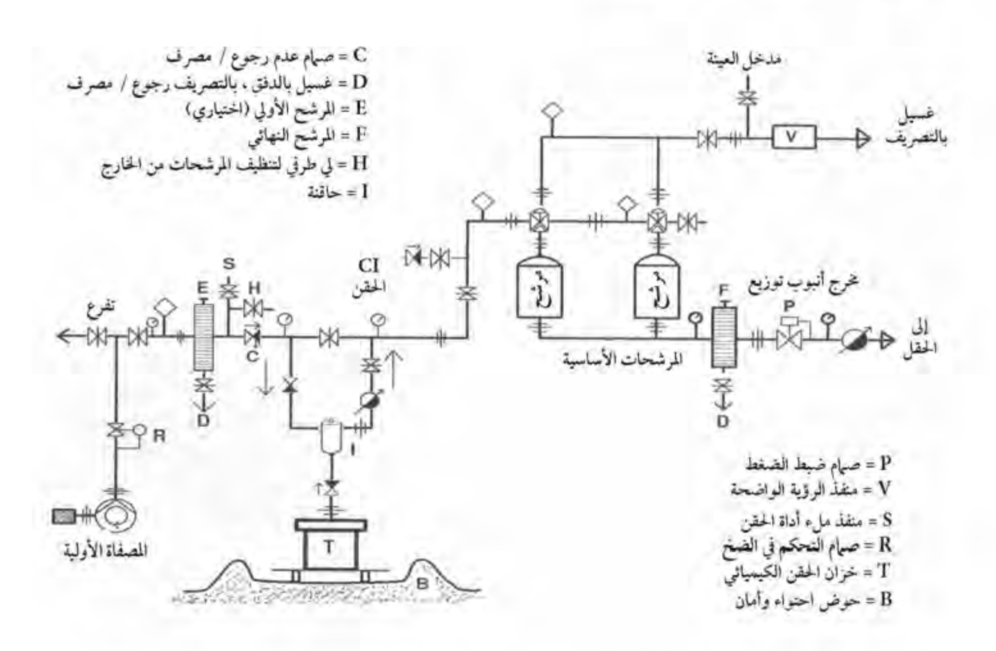
(١٧,٦) تصميم وحدة التحكم في النظام

إن وحدة التحكم في نظام الري الدقيق يتم تعريفها على أنها كافة المضخات والصمامات والمرشحات (الفلاتر) والحاقنات ولوحات التحكم ومعدات المراقبة، وغيرها من الأدوات اللازمة لتوصيل الماء بضغوط كافية وكميات وجودة ملائمة لنظام الري. ولابد لوحدة التحكم في نظام الري من أن تتخذ موضعاً يمكن الوصول إليه بشكل سهل من أجل أعمال الصيانة والتشغيل، ويوضح الشكل رقم (١٧,١) تخطيطاً لمختلف العناصر المكونة ومواضعها في وحدة تحكم نمطية لأحد نظم الري الدقيق.

أما تجهيز الموقع فلابد له أن يضمن صرف ماء العواصف الزائد عن منطقة وحدة التحكم بالإضافة إلى توفير إمكانية وصول موثوق بها في ظل الظروف الجوية المعاكسة. ولابد من تركيب وحدة التحكم على قاعدة خراسانية مستوية ذات متانة وحجم كافيين لحمل كافة المضخات والمرشحات وعدادات التدفق، ولوحات التحكم الالكترونية، والصمامات، والحاقنات، والمعدات الأخرى. وهذه القاعدة ستعمل على توفير أساس ثابت يمكن تثبيت المعدات عليه بالمسامير الملولبة وذلك للحد من الاهتزاز، ولتجنب الإجهادات الهيكلية، ولتسهيل عمليات الصيانة، أما قوالب الدفع فقد يكون من المطلوب استخدامها هي الأخرى عند مداخل ومخارج الأنابيب. ولابد من توفير دعامات ملائمة أسفل المكونات الثقيلة مثل عدادات التدفق وصمامات التحكم، والمرشحات.

ولابد من حماية المنظومة بالكامل من التلفيات الميكانيكية العارضة بسبب الأدوات والمركبات والجرارات الزراعية، ولابد من إحاطة كل من وحدة التحكم، وبرك وأحواض الترسيب، وخزانات الكيماويات، جميعاً بسياج لمنع الأطفال أو

الأشخاص غير المصرح لهم أو الحيوانات من إتلاف المكونات أو من أن يتعرضوا هم أنفسهم للمواد الكيماوية الخطرة.



الشكل رقم (١٧,١). تخطيط نمطي يمثل كافة المكونات المطلوبة في وحدة التحكم لنظم الري الدقيق.

ولابد من توفير مرافق تصريف أو احتواء للتسريب حول أي خزانات تجهيز للأسمدة أو الكيماويات، لمنع التلوث المباشر لأي مياه سطحية نتيجة للتسريبات. وبالمثل، لابد من حماية فوهات الآبار لمنع تلوث المياه الجوفية من المصادر البكتيرية و/أو الكيماوية. أما مياه غسيل المرشحات أو غيرها من المياه المحتمل أن تكون ملوثة فلابد من أن يتم التخلص منها من خلال نثر التراب عليها (أي بإخمادها بالغبار) وألا يتم السماح لها بالسريان إلى ممرات التصريف، لا سيما إذا كانت تحتوي على مواد كيماوية محقونة.

وقائمة التدقيق المقترحة للاعتبارات اللازم مراعاتها خلال التصميم الهيكلي لوحدة التحكم في النظام هي:

١- تصميم ارتفاع منظومة وحدة التحكم بحيث يسهل تفكيك وتجميع مختلف المكونات من أجل التنظيف والإصلاح والاستبدال، مع تقليل إمكانية دخول المخلفات وغيرها من الملوثات الأخرى إلى النظام. ولابد للمكونات بوجه عام من أن يكون لها حدّ ادنى من الارتفاع يبلغ حوالي ٠,٤ م أعلى سطح الخراسانة لتوفير مساحة تشغيل ملائمة.

٢- المحافظة على مسافات ملائمة بين مختلف المكونات لضمان التشغيل الموثوق به للعدادات وأجهزة القياس، وتيسير تشغيل وصيانة وتنظيف المرشحات، وتفكيك واستبدال الأجزاء التالفة. والتأكد من أن الأسهم المشيرة إلى اتجاه السريان على المكونات، مثل عدادات التدفق وصمامات الضبط هي في اتجاه السريان الصحيح.

٣- التأكد من أن المكونات يمكن عزلها بواسطة الصمامات وذلك من أجل عمليات الإصلاح والصيانة، وأن هناك ما يكفي من وصلات الأنابيب (ملولبة الطرفين)، ومقرنات التلقيم، و/أو شفّات اللحام، قد تم تركيبها لتيسير عمليات تفكيك وإصلاح المكونات. وتحدد مواضع كافة الصمامات بحيث تسمح بإمكانية وصول سهلة إليها، وتسمح بتسهيل عمليات فتحها وصيانتها وإزالتها. وتجنب الوصل بشكل مباشر ما بين المعادن المتباينة، بدون (وصلة) اتحاد عازل للكهرباء لمنع حدوث التآكل والتحلل الكهربي للملحقات. ولابد للطول المكشوف من حلمات (نبل) الأنابيب الصلبة المسننة من أن يسمح بإمكانية توصيل مريحة من أجل ربط الأنابيب بمفاتيح الربط.

٤- اختيار خامات منيعة لكافة الأنابيب والمكونات التي قد تتلامس مع المواد الكيماوية المركزة بما في ذلك الأسمدة. وأحيانا قد يقتضى الأمر استخدام مواد طلاء أو تبطين خاصة لحماية المكونات الهيدروليكية من التأثيرات الكيماوية المباشرة.

٥- يجب توفير أجهزة قياس الضغط، أو صنابير قياس الضغط بشكل مباشر في اتجاه التدفق قبل وبعد كافة المكونات التي تعمل على تعديل الضغط (مثل: منظمات الضغط، وأجهزة الترشيح، وحاقنات الأسمدة، وصمامات ضبط الضغط، ... إلخ).

٦- يجب استخدام وشائج (أجهزة تعشيق) كهربائية وهيدروليكية من أجل معدات الحقن، وذلك لمنع التدفقات المرتدة من تلويث إمدادات المياه، ولمنع عملية الحقن الكيميائي عندما لا تعمل مضخات إمداد الماء الرئيسة. وبشكل مماثل، لا يجب حقن المواد الكيماوية (فيما عدا البيوسيدات مثل الكلور) خلال حالات التدفقات المرتدة وارتداد مياه الغسيل بالدفق. وتركيب وشائج (أجهزة تعشيق) مانعة للتدفقات المرتدة، وكذلك تركيب صمامات (عدم رجوع) كابحة لخط الحقن، وتركيب غير ذلك من أجهزة الأمان، هي أمور يجب أن تسير بالتماشي مع المعايير أو الضوابط المحلية.

٧- الصمامات اللولبية solenoid لابد أن يكون هناك إمكانية لتجاوزها يدويا، أو إهمالها هيدروليكيا. ولابد لها أن تستغرق ما بين ١ إلى ٥ ثوان لكي تفتح وتغلق لتجنب حدوث مشكلات اندفاع الماء بقوة.

٨- يوصى باستخدام صمامات التحكم في المضخات، والتي تعمل ببطء على جعل النظام يعمل بدون حدوث اندفاع قوي للماء وتحمي المضخات عند الإغلاق، ولاسيما في منظومات المضخات التوربينية. ولابد للمضخات من أن تحظى بمفاتيح تحويل (سويتشات) منخفضة الضغط لمنع حدوث أضرار بالمضخة في حالة تسريب الماء.

٩- يجب حماية العمال من المخاطر الكهربية، من خلال تركيب وصيانة عازل ملائم، ووشائج (أو أجهزة تعشيق) ملائمة، ومن خلال توفير أساس ملائم لكافة المعدات الكهربية. ولابد من توفير دوائر تأريض لكافة مضخات الحقن.

١٠- لابد لمواتير أو محركات المضخات من أن يكون لها غطاء لحمايتها من أشعة الشمس المباشرة. وسوف يزيد هذا من فترة صلاحية المكونات ويخفض من السخونة الزائدة.

١١- كما ينبغي لمواتير المضخات الكهربية من أن يكون لها أميترات (أجهزة لقياس التيار الكهربي) مثبتة على لوحة التحكم، ولابد من تسجيل القراءات كجزء من برامج حفظ دفاتر الصيانة بشكل منتظم.

(١٧,٧) التركيب

أحد أكثر الاعتبارات أهمية عند تركيب نظام من نظم الري الدقيق هو سلامة العاملين. إذ لابد من ضمان توفير مساحة كافية، وتضاريس ملائمة للتشغيل بشكل آمن بدون تعريض أي من العاملين للخطر. ولابد من إمالة كل الخنادق أو أي حفريات أخرى أعمق من ١ م أو توفير إجراءات وقائية خاصة لحماية العاملين من انهيار الحائط الجانبي لتلك الخنادق.

ولابد للمقاول من أن يقوم بتطبيق برنامج مراقبة الجودة خلال عملية التركيب، وذلك لضمان أن كافة الوصلات قد تم عملها بشكل صحيح وليتجنب دخول ذرات التربة والبقايا إلى داخل الأنابيب والشبكات. ولابد من غسل نظم الري الدقيق بالدفق مباشرة بعد اكتمال التركيب، وكذلك بعد أي إنشاءات أو إصلاحات جديدة. ولابد للمقاول من أن يضمن أن الصمامات والمضخات، والمرشحات قد تم تركيبها وضبطها بشكل صحيح.

كما ينبغي على المقاول أن يقوم باختبار النظام للتأكد من صحة الضغط وتوزيعات التصرف، وليضمن أنه ليس هناك تسربات. ولابد من تقييم انتظامية التنقيط في النظام الجديد من أجل تحديد ما إذا كان النظام الجديد يستوفي مواصفات التصميم أم لا. ومعيار الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE الهندسي رقم (EP405.1)، بعنوان تصميم وتركيب نظم الري الدقيق، يقدم إرشادات إضافية لعملية تركيب وتقييم نظم الري الدقيق الجديدة فيما بعد التركيب (ASAE, 2005b).

ولابد للقائم بعملية الري أن يعتاد على آليات التحكم والخصائص المميزة للنظام الجديد. ولابد من تطبيق برنامج ملائم للتحكم في الماء، وكذلك لابد من تبني ممارسات جديدة تتعلق بالحصاد والزراعة وفق ما تقتضي الضرورة.

(١٧,٨) الصيانة

إن تطبيق نظام صيانة متقن وصارم هو أمر محوري بالنسبة للنجاح طويل الأمد لنظام الري الدقيق. وبرنامج الصيانة الجيد ينطوي على تطبيق المحافظة الجيدة على دفاتر المتابعة، وعلى برنامج معالجة كيميائية مناسب للماء، وعلى غسيل منتظم بالدفق لإبقاء خطوط الأنابيب نظيفة.

والكثير من مشكلات الصيانة يمكن تجنبها بواسطة التسجيلات المنتظمة لعدادات التدفق وأجهزة قياس الضغط. وهذه العملية يمكن تيسيرها بشكل كبير من خلال تقنيات الاتصال عن بعد المرتبطة بالحاسبات الآلية الموضعية. وكذلك من المطلوب إجراء مشاهدات بصرية متكررة لضمان ان كافة مكونات النظام تعمل بشكل سليم. كما أن التفتيش المنتظم في الحقل سيساعد في العثور على المنقطات المنسدة، وعلى رصد صمامات الغسيل بالدفق التي لا تعمل بشكل سليم، وعلى تحديد مواضع الأنابيب والشبكات التي تضررت من جراء ذئاب البراري، والقوارض الصغيرة، والحشرات، وغيرها من المسببات بما يشمل معدات الزراعة.

(١٧,٨,١) التقييم الحقلي لتشغيل وانتظامية نظام الري الدقيق

لابد من أخذ مقاييس انتظامية توزيع الماء في نظم الري الدقيق حديثة التركيب من أجل التأكد من أن النظام قد تم تصميمه وتركيبه بالشكل الملائم، وأيضاً من أجل توفير أساس لعقد المقارنات لاحقاً. ولابد من أخذ مقاييس انتظامية توزيع الماء قبل كل موسم حصاد للمحصول، ومقارنتها بتقييمات النظام الجديد. فإذا كان هذا الأمر شاقاً عملياً للغاية أو لم يكن عملياً بالمرة (كما في حالة النظم تحت السطحية)، عندئذ كحدّ أدنى

لابد للقائم على الري أن يقارن ما بين التصرفات والضغوط الفعلية للنظام عند بدايات الدخول والنهايات البعيدة للنظام من ناحية والتقييمات الأولية من ناحية أخرى. وقد يقتضى الأمر إجراء اختبارات أخرى من أجل تقييم وضبط إجراءات الصيانة والتشغيل خلال موسم النمو، خاصة عند وجود مشكلات انسداد للمنقطات حادة.

وتعتبر حالات الانخفاض في انتظامية التوزيع عبر الوقت من الأمور المثيرة للقلق. فعلى الرغم من أن عمليات الملاحظة البصرية المنتظمة سوف تعمل على رصد المنقطات التي تعاني من الانسداد، سواء بشكل كامل أو بشكل شبه كامل، إلا أنها لن ترصد التغييرات الصغيرة في معدلات تصرف المنقطات نتيجة للانسداد الجزئي. وسوف تؤدي الفحوصات المستمرة لسجلات عدادات التدفق والقياسات الحقلية الدورية للتغيرات في معدل تصرف وضغط المنقط، على المساعدة في التحقق من التغيرات الحادثة في أداء النظام. والرصد المبكر للمشكلات لابد أن يشير إلى الحاجة إلى معالجات كيميائية خاصة للماء لتنظيف المنقطات ذات الانسداد الجزئي قبل تفاقم المشكلة. وأما المقارنات اللاحقة - عندما يظهر الانسداد الجزئي للمنقطات كنتيجة إما للترسيب الكيميائي أو الطحالب أو غير ذلك من المسببات - يتم عملها باستخدام معامل كريستيان للانتظامية (CU) أو غير ذلك من الطرق الإحصائية لقياس الانتظامية كما هو مفسر في الفصل الخامس في دراسة بيتز وآخرين Pitts *et al.* (1996). وكذلك فإن تلف وتهالك المنقط سيؤثر في معدلات التصرف مع تقدم عمر المنقط.

فإذا ما كانت الانتظامية منخفضة، فلابد من أخذ عينات إضافية لزيادة المصداقية الإحصائية. وإذا كانت العينات الإضافية لمعدل تصرف المنقط تشير إلى أن انتظامية التوزيع لا تزال منخفضة، عندئذ لابد من إجراء اختبارات لضغط التوزيع للمساعدة في رصد الأسباب. ونجد أن كلا من انبعاج أو التسرب من خطوط الأنابيب والأنابيب الفرعية، ومنظمات الضغط المضبوطة بشكل غير صحيح، وخطوط الأنابيب وملحقاتها ذات الأحجام غير الملائمة، والصمامات التي لا تعمل بشكل لائق، هي جميعها

عوامل يمكن أن تتسبب في تفاوتات مرتفعة في الضغط الهيدروليكي. وفي المقابل، نجد أنه إذا كان التفاوت الهيدروليكي منخفضاً، فمن ثم تصبح الانتظامية الرديئة لتوزيع الماء مشكلة إلى جانب الانسداد أو الاختيار غير الصحيح للمنقطات.

في حالة إضافة الماء بواسطة نظام الري بالتنقيط يمكن اعتبار تسرب الماء في الحقل يتبع توزيعاً طبيعياً طالما كان معامل التغير لمعدل تصرف المنقط أو الانتظامية الجزئية (الحيزية) أقل من ٣٠٪ (Wu, 1988). أما منحنى التوزيع التكراري التراكمي للتوزيع الطبيعي للماء فيمكن تمثيله بشكل تقريبي بخط مستقيم. وسوف ينتج عن التوزيع الخطيّ لتطبيق الري مناطق ذات ري ناقص وأخرى ذات ري زائد، وهو ما يمكن تقديره كميا بواسطة معادلات حسابية بسيطة (Karmeli, *et al.*, 1978; Seginer, 1978; Wu, 1988).

والمعيار الهندسي للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم (EP-458) بعنوان التقييم الحقلي لنظم الري الدقيق (ASAE, 2005d)، يعمل على تحديد التدابير العاملة للتقييمات الحقلية للمنقطات، وهذا المعيار (EP-458) يفترض وجود توزيع طبيعي لمعدلات تصرف المنقطات المقاسة في الحقل. على كل الأحوال، حتى مع الانسداد الجزئي للمنقطات، فإنه في العادة سيتم الإفراط في تقدير قيم الانتظامية لأن الانسداد والضغوط لا يتم بشكل طبيعي توزيعها عبر النظام بكامله. وبوجه عام، نجد أن معايير تغير معدل تصرف المنقط هي: ٥٪ أو أقل للممتاز، ومن ٥٪ إلى ١٠٪ للجيد جدا، ومن ١٠٪ إلى ١٥٪ للجيد، ومن ١٥٪ إلى ٢٠٪ للرديء، وأكثر من ٢٠٪ لغير المقبول. أما معايير معامل التغير الهيدروليكي فهي: ١٠٪ أو أقل للممتاز، ومن ١٠٪ إلى ٢٠٪ للجيد جداً، ومن ٢٠٪ إلى ٣٠٪ للجيد، ومن ٣٠٪ إلى ٤٠٪ للرديء، وأكثر من ٤٠٪ لغير المقبول. وقد ناقشت دراسة برالتز وآخرين Bralts *et al.* (1987a; 1987b) الاعتبارات الإحصائية عند تقدير انتظامية التوزيع، أما دراسة كامب وآخرين Camp *et al.* (1997) فقد قامت بتقييم العديد من أساليب تقييم انتظامية المختلفة وناقشت أوجه النفع والقصور في كل أسلوب منها.

ولأن الكثير من التأثيرات الاقتصادية والبيئية هي دوال متعلقة بكل من المناخ، والطبوغرافيا، ونظم انتاج المحاصيل، فإنه غالباً ما تتواجد خطوط إرشادية معينة للانتظامية المقبولة في المناطق المعينة. وقد طرحت دراسة سماجسترلا وآخرين Smajstrla *et al.* (1997) خطوات محددة للتقيمات الحقلية في المناطق الرطبة (مفترضة كذلك وجود توزيعات إحصائية طبيعية لتصرفات المنقطات)، وقدمت الدراسة إجراءات جدولة وتخطيط تعمل على تبسيط تحليل البيانات للتفاوت في كل من معدل التصرف والضغط لتحديد مشكلات عدم الانتظامية، ولتحديد العدد المطلوب من المنقطات لفحصها، ولتحديد سبب أي عدم انتظام يتم رصده، فأما إجراءات الرسوم التخطيطية فتشترط أن يتم أخذ عينة عشوائية من المنقطات يبلغ حدها الأدنى ١٨ منقطاً في كل وحدة فرعية يتم تقييمها.

(١٧,٨,٢) صيانة النظام

لابد من اتباع توصيات الصانع بشأن الصيانة بالنسبة لكافة المكونات. فكل مكوّن لابد من أن يتم فحصه واختباره بشكل دوري للتأكد من أنه يعمل بشكل سليم. والثبات على المبدأ في كافة جوانب برنامج الصيانة هو المفتاح لنظام الري الدقيق الناجح. و الإبقاء على سجلات جدولة عمليات الري، والكلورة، والمعالجات الكيماوية، والري الكيميائي، وأنشطة الصيانة، هو أمر حاسم في توثيق مشكلات الصيانة، وفي الصيانة اللازمة المضبوطة التوقيتات، وفي إجراء التحليلات المالية، وفي التخطيط للتحسينات المستقبلية.

أما فحص المعدات وخطوط الأنابيب المدفونة فهو أمر صعب. ولهذا، يمكن استخدام المراقبة والتقييم غير المباشرين من خلال رسم خرائط قراءات عدادات التدفق والضغط بشكل دوري، وذلك لفحص أداء الوحدات الفرعية أو لفحص أداء نظام الري الدقيق بالكامل. والتغيرات في أداء النظام ستشير إلى الاحتياج إلى الصيانة، حتى عندما تظهر هذه التغيرات ببطء. ومراقبة معدلات التصرف والضغط ترصد مشكلات التسريب

أو انسداد المنقطات وتعمل على توثيق مدى تفاقم المشكلات. وعلى سبيل المثال، نجد أن معدل التصرف الذي ينخفض بشكل تدريجي، ومعدل الضغط المتزايد ربما يشيران إلى انسداد تدريجي في المنقط، في حين أن معدل التصرف المتسارع الازدياد، ومعدل الضغط المنخفض يمكن أن يشيرا إلى تسربيات أو إلى وجود خطوط أنابيب مكسورة. وكذلك نجد أن أدوات القياس مثل مقاييس الشد الرطوبي أو غيرها من مجسات ماء التربة يمكن لها أن تساعد في لفت الانتباه إلى مشكلات توزيع الماء العملية. كذلك سيكون من المطلوب عمل ضبط أو استبدال دوري لعدادات التدفق وأجهزة قياس الضغط.

ولابد من أن يتم إجراء الغسيل بالدفق لخطوط الأنابيب الرئيسة، والخطوط شبه الرئيسة، والخطوط الفرعية، وذلك لإزالة الرواسب، على الأقل مرة واحدة كل شهر أو كما تقتضي الحاجة خلال الموسم، اعتماداً على طبيعة الماء. ولابد من أن يتم غسيل أولاً خطوط الأنابيب الرئيسة، ثم الخطوط شبه الرئيسة، ثم الخطوط الموزعة، ثم أخيراً الخطوط الفرعية. ويمكن غسيل النظام بالدفق إما يدوياً أو آلياً. ولابد من أن يتم غسيل النظام بالكامل بالدفق عند بدايات المواسم، وعند نهاياتها، وكلما تم القيام بإصلاحات. ولابد من ان يتم فحص الأجزاء التي يتم غسيلها بالدفق للتحقق من عدم بقاء ترسيبات كيماوية أو تراكمات طحلبية أو تطفل جذور النباتات عليها.

كما أن مراقبة مدى تكرارية الماء المرتجع من المرشحات الرئيسة، وحالات الانخفاض في الضغط، يمكن أن تلفت الانتباه إلى مشكلات الترشيح المتنامية. فلابد أن يتم استبدال وسائط الترشيح حسب الحاجة. ولابد من أن يتم التفتيش على كافة المرشحات يدوياً، مع تنظيفها بشكل منتظم. وأما كل من برك التخزين، والقنوات، وأحواض الترسيب، فجميعها تستلزم تنظيفاً دورياً إما بشكل يدوي أو بشكل آلي من أجل إزالة تراكمات الترسيبات، والحشائش الضارة والطحالب.

أما مسألة مكافحة الحشائش مع نظم الري الدقيق فتمثل تحدياً لأن كلا من ظروف التربة الرطبة والجافة تتواجد عبر مسافات قصيرة. والفصائل المختلفة من

الحشائش المائية والتي تستلزم مكافحتها استخدام أنواع مختلفة من مبيدات الحشائش ستستقر في مساحات محدودة، ولكن أغلب الحشائش ستتواجد في المناطق الهامشية فيما بين مناطق التربة الرطبة والتربة الجافة. ولحسن الحظ، فإن مبيدات الحشائش المخصصة للاستخدام المباشر من خلال المنقطات تميل لأن تعمل بصورة طيبة. وعلى كل الأحوال، فإن ظروف ماء التربة يمكن أن تتسبب في الترشيح أو التحلل السريع لكثير من مبيدات الحشائش. وغالباً ما تتم مكافحة الحشائش المائية بشكل ناجح باستخدام أغطية المهاد البلاستيكية أو تطبيقات الرش المتعددة لمبيد فوسفات الجلايسين أو غيره من مبيدات الأعشاب اعتماداً على المحصول والموقع. ومن المهم كذلك الإبقاء على منطقة التحكم خالية من الحشائش أو الشجيرات أو التعريشات، أو غيرها من المواد التي قد تعيق الوصول إليها أو تعرقل أنشطة الصيانة.

وكما ذكر من قبل، فإن ذئاب البراري، والقوارض، والحشرات، وغيرها من الحيوانات قد تسبب تلفيات في الأنابيب، وهذا الأمر يطرأ بوجه عام عند بحث هذه الحيوانات عن الماء. والمراقبة اليومية لمعدلات تصرف النظام، إلى جانب الملاحظة البصرية سيساعدان في تقليل مشكلات توزيع الماء الناجمة عن مثل تلك المسببات. فإذا كانت هذه المشكلات مزمنة، فمن ثم يمكن بشكل دوري حقن زيوت مُرّة، بالإضافة إلى أن التثبيت الإستراتيجي لأطباق مياه حول الحقل قد يكون أمراً نافعاً.

أما أنشطة الصيانة الأخرى الأقل انتظاماً فتشمل، الغسيل بالدفق لمعدات الحقن بماء نظيف بعد كل استخدام وذلك للسلامة، ولتجنب التآكل. ولابد لكل من المضخات، والمرشحات، والصمامات، وأجهزة القياس، والحاقنات، والخزانات، وخطوط الأنابيب، وغيرها من المكونات الهيدروليكية، من أن يتم حمايتها من التجمد في الشتاء من خلال النزح أو الصرف في الأجواء الباردة. وكذلك قد تدخل الحشرات إلى داخل فتحات التهوية وتتسبب في جعلها عرضة للتسريب. أما لوحات التحكم الكهربية فتحتاج لأن يتم الإبقاء عليها بعيدة عن الرطوبة والغبار.

(١٧,٩) الإدارة

بوجه عام، يتطلب نظم الري الدقيق استخدام مستويات متقدمة من الإدارة أكثر من طرق الري الأخرى؛ لأن القرارات لابد من أن يتم اتخاذها على أساس يومي أو بشكل أكثر تواتراً. وسوف تعتمد قرارات الإدارة النوعية على المحصول والموقع والظروف البيئية. وقد عمدت دراسة سشونكل وآخرين (1995) Schwankl *et al.* إلى مناقشة إدارة الماء للمحاصيل الشجرية ومحاصيل الأعناب المروية باحد نظم الري الدقيق، بينما قدمت دراسة هانسون وآخرين (1994) Hanson *et al.* بمناقشة مماثلة ولكن للمحاصيل الصفية.

والأسئلة المتعلقة بإدارة الري الدقيق تركز بوجه عام على أمور معينة مثل متى يتم الري، والمقدار الذي يتم تطبيقه، وكيف يتم تقييم الحالة المائية للنبات بدقة، ومدى تكامل الانشطة الزراعية الأخرى مع احتياجات الري. وهذه القرارات يتم تيسيرها من خلال تبني برنامج جدولة للريّ صحيح، وهو ما قد يدعمه استخدام أدوات تشغيل إلى (أتمتة) وإدارتها. كما أن المعالجة الكيميائية للماء، وتنظيف المرشحات، والغسيل الدوري بالدفق لخطوط الأنابيب والخطوط الفرعية، ووجود برنامج صيانة إجمالي جيد، هي جميعها أمور جوهرية بالنسبة للإدارة الجيدة.

(١٧,٩,١) الإدارة في المناطق الجافة

أحد أكثر الاعتبارات أهمية عند ادارة نظام الري الدقيق في المناطق الجافة هو أن حجوم الجذور النشطة تكون صغيرة لأن الماء غالباً ما يتم إضافته إلى ٣٠٪ أو أقل من إجمالي النطاق الجذري المحتمل. وهذا يمكن له من الناحية الفيزيائية ان يحد من امتصاص الماء وعناصر التغذية والذي يسبب الإجهاد خلال فترة أقصى احتياجات مائية للبخر-نتح ET. ومن ثم لابد للإدارة من أن تركز على ترشيد استخدام حجم محدود من التربة المبللة لكل من الماء والعناصر المغذية. وقد يستلزم الأمر وجود أحجام

متزايدة من المناطق المبللة بواسطة الرشاشات الصغيرةبدلا من المنقطات في التربة الرملية وذلك لتدعيم توفير ماء التربة والعناصر المغذية المتاحة.

أحجام البلل القليلة بالمقارنة بطرق الري الأخرى يمكن أن تؤثر على قرارات الإدارة بشأن كل من ملوحة ورشح التربة، وجودة الماء المضاف (مثل الأملاح)، وتغذية النباتات، والرقم الهيدروجيني للتربة pH، وتوافر عناصر التغذية الدقيقة. وعلى كل الأحوال، فبسبب الحيز الجذري المحدود، نجد أن برامج الرسمدة تعمل بشكل جيد على أساس التكرارية العالية، حيث يمكن تطبيق استخدام العناصر المغذية حسب الحاجة بمقادير صغيرة مع امتصاص سريع وحدّ أدنى من التسرب، على الرغم من أن بعض الحالات قد تستدعي تطبيقات استخدام أوراق النباتات لعناصر التغذية الدقيقة.

أما مساهمات الماء الأرضي في الاستخدام المقدر للبخر-نتح للمحصول ET فقد يكون عاملاً بارزاً في متطلبات ماء الري للمحاصيل المروية بنظام الري الدقيق اعتماداً على التغيرات الموسمية في أعماق الطبقات الجوفية. أما الإبقاء على مناسيب منخفضة بشكل طفيف لماء التربة للحيز الجذري لخزن ماء المطر فمنافعه محدودة؛ لأن مناسيب ماء التربة تكون بالفعل قد انخفضت بشكل كبير خارج مناطق الحيز الجذري المبلل، ومن ثم فإنها توفر مخزوناً وفيراً لأى تساقط.

(١٧,٩,٢) الإدارة في المناطق الرطبة

في المناطق الرطبة حجم جذور المحصول لا يكون مقصوراً على الحيز المروي فقط. فإمدادات المياه هنا تتسم بالوفرة، كما أن الأمطار المتواترة تسمح بنمو الجذور وتسمح لامتصاص الماء والعناصر الغذائية بأن يظهر خارج الحيز المروي. ومن ثم، يكون من المهم أن تكون حجوم الجذور المروية كبيرة بما يكفي للتقليل إلى الحدّ الأدنى من الإجهاد؛ لأن الجذور لا تتركز بالقرب من المنقطات. ومما يوصى به بوجه عام أن يتم تصميم نظام الري الدقيق ليروي على الأقل ٥٠٪ من النطاق الجذري للمحصول في هذه الحالات. وعند استخدام المنقطات، فإن المنقطات منخفضة التصرف يتم تقريب

المسافات الفاصلة بينها بشكل نسبي، مع وجود تباعد جانبي ضيق لضمان الحصول على أقصى إنتاجية للمحصول.

وهناك منافع ضخمة لنظام الري الدقيق في المناطق الرطبة. فتكلفة استخدام الماء بها تتسم بكونها منخفضة بشكل طبيعي، بسبب المقادير الصغيرة من الماء المستخدم طوال الموسم، وبسبب متطلبات الضغط المنخفض لهذه النظم، غير أن زيادات إنتاجية وجودة المحصول يمكن أن تكون كبيرة من خلال تجنب تأثيرات الجفاف قصير الأمد. وكذلك يمكن تطبيق دورات الري بدون تبليل أوراق النبات، وإطالة الفترة التي تظل الأوراق فيها جافة إلى الحدّ الأقصى فيما بين فترات هطول المطر، وهو ما يقلل إلى حد كبير من إصابة أوراق النبات بالأمراض مما قد يستدعي استخدام المبيدات الفطرية أو غيرها من الكيماويات الزراعية الأخرى.

وتعتبر عملية الرسمدة ذات فاعلية عالية في المناطق الرطبة، وعلى كل الأحوال، فإن تسرب العناصر المغذية هو في الغالب مشكلة هامة نتيجة للأمطار الغزيرة والري الزائد. ومن ثم فإن نظم الري الدقيق لابد من أن تتم إدارتها بشكل ملائم وذلك لتجنب كل من التسرب وما يرتبط به من مشكلات تلوث نظم المياه الجوفية أو المياه السطحية. وهذا الأمر يتطلب أن يتم تطبيق استخدام الماء والمواد الكيماوية بجرعات صغيرة بحيث تكون الكمية القابلة للتسرب من المواد الكيماوية، كمية محدودة، تحسباً للعواصف المطرة الكبيرة.

وبالمقارنة بإدارة نظام الري الدقيق في المناطق الجافة، نجد أنه من النادر ما يستدعي الأمر استخدام تطبيقات مفرطة للماء من أجل التحكم في الملوحة في المناطق الرطبة. وتظهر الاستثناءات حين يتم استخدام ماء ري ذي جودة رديئة للغاية، أو حين يتم زراعة محصول حساس جداً للأملاح، أو خلال فترات الجفاف الطويلة. والظهور المتواتر نسبيا للعواصف المطرة الكبيرة يوفر بشكل طبيعي إدارة ملائمة لتسرب الماء وملوحة التربة في المناطق الرطبة. وقد ناقشت دراسة بومان وبارسونز Boman and

Parsons (1998) مسألة انتقاء وتصميم نظم الرشاشات الصغيرة للمحاصيل الشجرية في المناطق الرطبة.

وكما هو الحال في المناطق الجافة، نجد أن مساهمات الماء الأرضي في متطلبات ماء ري المحصول يمكن أن تكون ذات أهمية بارزة. وستكون المقادير مرتبطة بالموقع ولابد من مراعاتها عند جدولة تطبيق الري. فهذه الطبقات الجوفية الضحلة من السهل أن يصيبها التلوث هي الأخرى، ولابد من وضع جدولة ري تعمل على تجنب التسرب.

وغالبا ما يقتضى الأمر استخدام نظم الصرف السطحي وتحت السطحي للماء على السواء في المناطق الرطبة، لاسيما في التربة الثقيلة أو الخفيفة في المناطق المستوية، مع وجود طبقات غير منفذة تضع مستوى الماء الأرضي قرب سطح التربة. واحتياجات الصرف هذه تنخفض دون أن يتم القضاء عليها مع نظم الري الدقيق بسبب المرات العديدة لحالات هطول الأمطار الغزيرة.

وهناك القليل من الفائدة عند تأخير أو خفض تطبيقات الري تحسباً لسقوط المطر، ومن ثم فإن عمليات الري الكاملة يتم تطبيقها بشكل عام مع أغلب المحاصيل لتحسين إنتاجية المحصول وجودته. والاستثناء الوحيد لتلك الممارسة هو استخدام الري بالرشاشات الصغيرة أو الرذاذات (البخاخات) الدقيقة مع المحاصيل الشجرية حيث تكون الحجوم المروية من التربة كبيرة بشكل طبيعي بما فيه الكفاية لزيادة فعالية المطر بشكل كبير من خلال تأخير أو خفض مقدار الري.

(١٧,٩,٣) التحكم في حجم الجذور

إن التركيز الكفء للجذور في نطاق حيز محدود من التربة المبللة هو أمر يمكن بالفعل إنجازه مع نظم الري الدقيق في المناطق الرطبة. والإبقاء على مجاميع جذرية مركزة تحت المنقط هو أمر قد تكون من منافعه: (١) توفر الماء نتيجة للأهمية المنخفضة لمعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة، (٢) تطبيق الماء بكفاءة من خلال التقليل للحد

الأدنى من حالات الفاقد نتيجة للبخر والتسرب العميق، (٣) التطبيق الفعال للأسمدة وغيرها من المواد الكيماوية القابلة للذوبان في الماء، لا سيما تلك التي تميل لأن تثبت على جسيمات التربة (مثل البوتاسيوم، والفسفور)، (٤) التقييد والحدّ الفسيولوجي للجذور أو تأثيرات الجفاف على المحاصيل المعمرة للتسبب في معدلات نمو منخفضة سواء بالتلقيح أو بدونه، ولإحداث تغلغل أفضل خفيف إلى داخل ظلال النبات. وبشكل أساسي هناك ثلاث طرق مختلفة لإستراتيجيات التحكم في الحيز الجذري، وتشمل، الري المنتظم الناقص، والري المحكوم الناقص، والتجفيف الجزئي لحيز الجذور. وتتم مناقشة تلك الإستراتيجيات فيما يلي.

(١٧,٩,٣,١) الري الناقص المنتظم

إحدى تقنيات التحكم في حجوم الجذور هي الري الناقص المنتظم (RDI)، وتقتصر على المناطق الجافة نسبياً. وتقنية العمل هذا يقوم عن عمد بفرض إجهادات مائية على النباتات خلال مراحل نمو معينة (هي في العادة في بداية الموسم) باستخدام فترات ري يومية منتظمة، ولكن فقط باستبدال ١٠٪ إلى ٣٠٪ من الاستهلاك المائي اليومي للنبات. وتتقلص حجوم التربة المبللة من عند جوانب وقاع حيز الجذور. وفي نهاية فترة الإجهاد (حسبما ستتضح من الإشارات الفسيولوجية المتنوعة)، تزداد مقادير إضافة الماء (أي أن مقدار البخر-نتح الفعلي اليومي يبلغ من ٨٥٪ إلى ١٠٠٪)، لكن لا يعاد ملء المنحنيات المائية للتربة، كما أن حجم منطقة التربة المبللة الصغيرة يظل ثابتاً. ولا يجب إعادة بدء النمو الزراعي بواسطة ظروف ماء التربة الجائرة. وأسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) يستلزم أن تتوافر مخصصات ملائمة من ماء ري أواخر الموسم من أجل "إنهاء المحصول"، ويستلزم أن يتم تصميم النظام بحيث يستعمل على الأقل ذروة الاحتياجات المائية للمحصول على أساس يومي طوال موسم الزراعة بكامله. ومن المستحسن بشكل كبير استخدام نظام الري الدقيق الذي يعمل آلياً (المؤتمت).

وحتى الآن لم يتم اختبار أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) سوى على المحاصيل الحولية. وقد أثمرت الدراسات عن نتائج نافعة في استراليا على الخوخ (Chalmers *et al.*, 1981) وعلى الكمثرى (Mitchell *et al.*, 1984)، وفي واشنطن على التفاح (Proebsting *et al.*, 1977، Middleton *et al.*, 1981، Peretz *et al.*, 1984، Evans *et al.*, 1993، Ebel *et al.*, 1995، Drake and Evans, 1997)، وعلى الكروم (Evans *et al.*, 1990، Warnple, 1996, 1997). كما أن الدراسات الإضافية التي أُجريت في كل من ولاية كاليفورنيا الأمريكية واسرائيل واستراليا وتشيلي، وغيرها من المناطق الجافة، على العديد من المحاصيل قد أوضحت كذلك انه يكون من المفيد التحكم بعناية في حدّة ومدّة المستوى الثابت والمنتظم للاجهاد المائي على أشجار الفاكهة والكروم، وغيرها من المحاصيل الحولية. وقد ثُبت أن أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) يتحكم في كل من النمو الزراعي، وزيادة الإثمار، والمساعدة في نضج الفاكهة، وزيادة النضج المبكر، وزيادة المواد الصلبة القابلة للذوبان في الثمار. ويمكن خفض الانجرافات السنوية للماء بنسبة ٢٠٪ أو أكثر. ومفتاح أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) الناجح هو السيطرة الصارمة على حجم ماء التربة من أجل التحكم في النمو الزراعي. وهذا الأمر يتيسر من خلال القدرة العملية على تحقيق نظم ري عالية التكرارية، و المقدرة على تحجيم ماء التربة من خلال التحكم في مقدار الماء المضاف وحجم الحيز المبلل من التربة والمتاح للجذور.

(١٧,٩,٣,٢) الري الناقص المحكوم

أسلوب الري الناقص المحكوم (CDI)، يشير بوجه عام إلى إستراتيجيات ري تطبق أقل من الاستخدام الفعلى للماء في أواخر موسم الزراعة. وعلى سبيل المثال، غالباً ما يتم استخدام أسلوب الري الناقص المحكوم (CDI) كأسلوب عمل يحافظ على الماء مع المحاصيل الحولية في المناطق الجافة، مثل، محاصيل الخوخ، أو البرقوق، أو الكرز، والتي يتم حصادها فيما بين أوائل ووسط الصيف. وبشكل مماثل، فإن أسلوب

الـري النـاقص المحكـوم (CDI) المـدار بعنايـة ، قـدّ يـتم اسـتخدامه لتحفيـز الاسـتجابة الفسيولوجية للنبات ، مثل استثارة القساوة الشتوية للمحاصيل الحولية التي لا تتكيف فسيولوجياً للنمو في المناطق الجافة ذات فترات الشتاء الباردة.

ويتم الإبقاء على فترات الري عند منسوب منخفض بعد الحصاد وحتى بقية الموسم ، وعلى كل الأحوال ، فإن إجهاد الجفاف لا يُسمح له ببلوغ مستويات حادة قد تؤثر على محصول العام التالي. ويتم استخدام الماء المُوفّر بعدئذ مع محاصيل أخرى.

(١٧,٩,٣,٣) التجفيف الجزئي لحيز الجذور

أسلوب التجفيف الجزئي لحيز الجذور هو أحد أساليب الري بالتنقيط البسيطة مع المحاصيل الحولية الشجرية ومحاصيل الأعناب ، والتي تستخدم خطوط تنقيط توضع بالقرب من منتصف الممر الواقع فيما بين صفوف النباتات (Leib *et al.,* 2006). ويتم استخدام النظم هنا بطريقة مشابهة لأسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) فيما يخص التوقيت ، وعلى كل الأحوال ، فإنه يتم الري بمنقط واحد فقط في المرة الواحدة بما يسمح لمقدار التربة المغطى بالخط على الجانب الآخر من النبات بأن يجف. وأما الرية التالية فسوف تضيف الماء من خلال خط التنقيط الثاني بما يسمح للجانب الآخر بأن يجف وذلك لخفض مناسيب ماء التربة. أما الاستجابات الفسيولوجية فهي مشابهة لتلك الواردة في أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI). وهذه الممارسة يشيع استخدامها مع محاصيل أعناب الخمور الأوربية (*Vilis vinifera*) في الجنوب الأوسط من واشنطن ، ووسط غرب إيداهو ، وغرب كلورادو ، والشمال الأوسط من أوريجون.

(١٧,١٠) جدولة نظام الري الدقيق

إن الفلسفة الأساسية في نظام الري الدقيق هي استبدال الماء في منطقة الجذور بمقادير صغيرة يستخدمها النبات على مراحل منفصلة تتراوح ما بين مرات عديدة في اليوم الواحد ومرة واحدة كل يومين أو ثلاثة أيام ، بدلاً من إعادة ملء خزان الماء

الأرضي بمقادير أكبر بكثير بعد عدة أيام أو أسابيع. ومن ثم، فإن الشاغل الرئيسي لجدولة نظام الري الدقيق هو مقدار ما يجب إضافته خلال الرية الواحدة؛ لأن الفترات بين الريات تحددها دوما عوامل أخرى.

ومقدار البخر-نتح للمحصول المقدّر (ET)، مقترنة مع نسبة المساحة التي يتم ريها، سيحددان سوياً الحجم الإجمالي للماء المفترض إضافته (Clark, 1992). وأقصى فترة بين ريات الري يحكمها بشكل أساسي الخصائص الهيدروليكية للتربة، وشكل طبقات التربة، وموضع شبكة الأنابيب. أما عمق التربة، ومعامل التوصيل الهيدروليكي المشبع، وقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، ستعمل جميعاً على التحكم في الحجم المضاف في الرية الواحدة لتجنب حدوث الجريان السطحي أو التسرب العميق الزائد عن الحدّ.

وفي بعض الأحيان من غير الممكن تحقيق جدولة مُثلى لنظام الري بسبب أوجه القصور في نظام الري. وأوجه القصور تلك تشمل عدم مرونة أجهزة وآليات التحكم، والسعات الهيدروليكية الغير ملائمة للنظام (بما يشمل وقت الملء، ونظام الصرف)، ومقدار وجودة الماء المتاح طوال الموسم.

واعتبارات الإدارة مثل نوعية ومقدار العمالة المتاحة، يمكن لها أن تؤثر على القدرة على تنفيذ جدولة الري. وبالمثل فإن التوقيت ومقدار ونوع عملية الري الكيميائي يمكن لها أن تؤثر على كل من توقيت الري، والعمق المضاف، مما يمكن أن يؤثر على جدولة الري السابقة واللاحقة. وقد يكون من اللازم جدولة مرات الري الزائد بشكل دوري من أجل ترسيب الأملاح. أيضاً قد يكون من اللازم تعديل جدولة الري بسبب اعتبارات أخرى تتعلق بالزراعة أو الحصاد.

وبمجرد أخذ العوامل السابقة في الاعتبار، يمكن عندئذ جدولة الري، كلما ظهر مستوى نضوب مسموح به، أو لابدال البخر-نتح اليومي للمحصول (ET) المقدر أو المقاس. وبشكل بديل، يمكن بدء وإيقاف نوبات الري بشكل آلي كلما وجد أن إمكانية

قياس ماء التربة عند نقاط منتقاة في حيز التربة المبلل، قد بلغت مستويات محددة سلفاً بحسب قياس مجسات ماء التربة. ويمكن وضع جدولة مثالية اقتصادياً لنظام الري الدقيق اعتماداً على انتظامية نظام الري والتكاليف المرتبطة بإمداد الماء، وقيمة إنتاجية المحصول، والتكاليف ذات الصلة بتلوث المياه الجوفية نتيجة لعملية التسرب.

(١٧,١٠,١) تقدير البخر-نتح للمحصول (ET)

لابد لعملية جدولة الري من أن تكون عملية ديناميكية لأن البخر-نتح المقدر للمحصول (ET) يتباين مكانياً وزمنياً خلال موسم الزراعة، والبخر-نتح المقدر للمحصول (ET) يعتمد على نوع النبات، والتربة، والظروف البيئية المحلية، والنسبة المئوية للحيز الجذري المروي، وكثافة النباتات، والخصائص المميزة للجذور، وحجم ظلال النبات. وكذلك فإن مشكلات الحشائش والأمراض تعمل على خفض الاستهلاك المائي للمحصول، وعادة ما يتم توزيعها بشكل متفاوت عبر الحقل، مما يتيح الفرص لظهور تطبيقات الماء الزائدة والتسرب الزائد. وبالمثل، فإن توافر العناصر المغذية وامتصاص النبات يمكن لهما أن يؤثرا بشكل قوي على نمو ظُلّة النبات، مما يؤثر بدوره على التوزيع الكلي والمساحي لاستهلاك الماء. والفصل الثامن يغطي طريقة حساب الاستهلاك المائي للمحصول (البخر-نتح) ET.

وسقوط المطر سيقلل من احتياجات ماء الري بواسطة المقدار الفعال من ماء المطر (Kopec *et al.*, 1984). ومساهمات منطقة الماء الأرضي الضحلة في الاستهلاك المائي للمحصول (ET) تعمل بالمثل على خفض احتياجات الري. وأكثر التخمينات الموثوقة لتقدير الاستهلاك المائي للمحصول (ET) تعتمد على تجارب الري الحقلي التي أجريت بنطاق واسع من معالجات الري (Doorenbos and Kassam, 1979)، أو الليسومترات، أو بنماذج مُدَرّجة للاستهلاك المائي للمحصول (ET) من خلال استخدام المتغيرات الجوية (Jensen *et al.*, 1990).

والاستهلاك المائي للمحصول (ET) في ظل ظروف غير إجهادية، مثل تلك التي يشيع وجودها مع نظم الري الدقيق، قد يكون أعلى من القيم المقدرة من قبل،

والتي تم وضعها في ظل أشكال ري أكثر تقليدية. وبالمقابل، فإن الاستهلاك المائي الإجمالي للمحصول (ET) ينخفض في المحاصيل الشجرية ومحاصيل الكروم واسعة المسافات، لأن البخر في التربة والنتح الناتج عن الحشائش أسفل ظُلّة النبات يكونان منخفضين. وأي أخطاء في تقدير الاستهلاك المائي للمحصول (ET) عن القيم الحقيقية، يتسبب في إنتاجية منخفضة للمحصول، وفي هدر الماء، وفي استجابات فسيولوجية غير مرغوبة في النباتات، أو في ظهور تشكيلة من هذه العوامل وغيرها من العوامل الأخرى. وبناء عليه، فإن هذه الشكوك تحتاج لأن تتم مراقبة كل من احتمالات الماء الأرضي أو ماء النبات سوياً في ظل كافة طرق الري الدقيق من أجل جدولة ملائمة للري.

المنطقة المروية بشكل عام تؤخذ على أنها المساحة السطحية الكلية للمحاصيل الصفّية، وغيرها من النباتات عالية الكثافة، آخذين في الاعتبار أن معظم هذه المساحة في نهاية الأمر ستصبح مظللة عندما ينضج المحصول. وعلى كل الأحوال، فبالنسبة للمزروعات منخفضة الكثافة، أو الصغيرة للغاية، ذات النطاقات الجذرية الصغيرة، نجد أن كلا من تطبيقات الماء وجدولة الري لابد من أن تستخدم منطقة ظُلّة بارزة للنبات أو غير ذلك من قياسات المنطقة المحصولية المتأثرة.

(١٧,١٠,٢) الفترة بين الريات

قد يكون من المطلوب تنفيذ أكثر من تطبيق للماء في اليوم الواحد، إما لأنه لا يمكن لمقدار الماء الإجمالي اليومي الفعلي للبخر-نتح أن يتم خزنه في حيز النطاق الجذري المبلل المحدود (مثل محاصيل الخضراوات الصغيرة)، أو لأن تطبيقات الماء الكبيرة المفردة قد تتسبب عند موضع ما في حالات مفرطة للفاقد بسبب التسرب العميق والغسيل. وعلى العكس من ذلك، ففي الترب الثقيلة، ذات سعات عالية للاحتفاظ بالماء، أو رديئة القدرة على الصرف، فإن نوبات الري المُثلَى ستكون فقط كل ثاني أو ثالث يوم.

بعض المحاصيل (مثل، الكنتالوب، والقطن، والكثير من المحاصيل الحولية) قد تبلي بلاء حسناً في ظل نوبات ري أقل تكرارية (على سبيل المثال، كل ٢ إلى ٤ أيام) لاسيما مع التربة الثقيلة، بينما المحاصيل الأكثر حساسية للماء (مثل، الطماطم، والبطيخ، والخسّ) قد تحتاج على الأقل لنوبات ري يومية من أجل أفضل إنتاجية وجودة للمحصول.

وإذا كان تسرب الأسمدة، أو غيرها من المواد الكيماوية الأخرى هي من المشاكل الرئيسة، عندئذ قد تنطوي الخيارات على استخدام نظم ري مذبذب (نابضة) فائقة التكرارية (مثلا ٨ إلى ١٠ مرات/اليوم) ومقرونة بالمجسات، أما المحاصيل ذات الجذور الضحلة فغالباً ما تنتفع من نوبات الري الخفيفة عالية التكرار، وقد ثبت أن أساليب عمل الري الدقيق العالية التكرارية تعمل على زيادة البلل الجانبي، وخفض اجهادات الماء والعناصر المغذية، لا سيما عند استخدامها مع عملية الرسمدة، ولكن حجم التربة المبللة الصغير سوف يعمل على خفض قدرة النبات على تحمل إجهاد جفاف ولو حتى لفترة قصيرة. وعلى كل الأحوال، فإن القائمين على الزراعة يحتاجون لأن يكونوا على دراية بمشكلات الإدارة ومشكلات ماء التربة، التي يسببها الملء المتواتر، والصرف الموضعي لخطوط الأنابيب في ظل الإستراتيجيات عالية التكرارية.

ومن جهة أخرى، فإن نوبات الري الأقل تكرارية تكون نافعة للتحكم بحيث تكون معدلات الرطوبة في مظلة المحاصيل الكثيفة، منخفضة من أجل خفض فرص ظهور الأمراض الفطرية (مثل فطر بوتريتس على الأعناب). وقد يتم فرض نقص في الري عن عمد على فترات لبلوغ جودة محصول معينة مفضلة، أو غير ذلك من استجابات النبات الفسيولوجية.

(١٧,١٠,٣) مراقبة ماء التربة

إن مجسات ماء التربة تشير إلى قياسات الحجوم الصغيرة في الحقل من أجل مراقبة حالة التربة وللتحكم في نوبات الري. ولابد من وضع كافة أدوات مراقبة ماء

التربة على أعماق ملائمة وفي مواضع ملائمة للتأكد من أن جدولة الري ستكون ملائمة لتحسين إنتاجية المحاصيل، وتقليل استخدام الماء، وتقليل التسرب إلى المياه الجوفية. وعلى كل الأحوال، فإن توزيعات ماء التربة في نظام الري الدقيق عالية التفاوت، وهناك أسئلة رئيسة حول تحديد المواضع الملائمة للمجسات، والتأويل الصحيح للقراءات. والتدفق التفضيلي لماء التربة يعتبر في الغالب عاملاً رئيساً وإن كان غير قابل للتقدير الكمي بشكل كبير في توزيعات ماء التربة. وبناء عليه، فإن جدولة الري غالباً ما يتم "معايرتها" من أجل تحديد مواضع معينة للمجسات بالنظر إلى نقطة انبعاث الماء المرتبطة بالقياسات المحتملة لماء النبات أو بغيرها من المتغيرات المستقلة. والمعايرة هي أمر مطلوب بشكل نمطي لتحسين استغلال الماء والعناصر المغذية (Smajstria and Locascio, 1996). ويمكن التقليل إلى الحد الأدنى من عدد المجسات المطلوبة من خلال اختيار عينات من النباتات وأنواع التربة عبر أرجاء الحقل.

كما أن تحديد الموضع المثالي للمجسات سيتأثر أيضاً بالفترات بين الريات؛ لأن تدرج ماء التربة سيبدأ من المنقط على محيط بلل متزايد في المقدار المبلل خلال الري. وهذا التدرج في منحنى البلل سيأخذ في النقصان بعد الري، بسبب توزيع الماء، والمحتوى المنتظم للماء مع أساليب مقاربة مقدار التربة المبللة. ومن ثم، فإن المجسات المستخدمة في التحكم في نوبات الري اليومية أو الأكثر تكرارية توضع بوجه عام في مواضع في حدود ١٠ إلى ١٥ سم من المنقطات، ولكنها قد توضع أبعد من ذلك لنوبات الري الأقل تكرارية. أما المجسات الإلكترونية لقياسات التربة فغالباً ما تكون ملائمة لمثل هذه التطبيقات.

المجسات التي تحدد متى يتم الري، فبشكل طبيعي يتم وضعها فيما بين الربع العلوي إلى النصف العلوي للحيز الجذري داخل المناطق الأكثر نشاطا في امتصاص الماء والعناصر المغذية. والمجسات الموضوعة في الجزء السفلي من الحيز الجذري يمكن أن تستخدم للتحكم في مقدار الماء المضاف ولتفادي التطبيقات الجائرة.

(١٧,١٠,٤) معايير التصميم الخاصة بالجدولة

عادة ما يتم تصميم نظم الري الدقيق بمعامل انتظامية يبلغ ٩٠٪، لا سيما عندما يفترض أن يتم حقن الكيماويات الزراعية عبر نظام الري. وحتى في ظل وجود نسبة انسداد للمنقطات تبلغ ١٠٪ فإن معامل الانتظامية سيظل أعلى من ٧٠٪. وبناء عليه، فغالباً ما يتم استخدام كفاءة "جدولة" حقلية تبلغ ٨٠٪، وتشمل تأثيرات المنقط وحالات عدم الانتظامية الهيدروليكية. وعلاقات الكفاءة فيما بين التطبيقات الإجمالية والصافية قد تمت مناقشتها في الفصل الخامس والفصل الواحد والعشرين ولن يتم الاسهاب فيها هنا.

(١٧,١١) الانسداد في نظم الري الدقيق

إن الانسداد الجزئي أو الكلي للمنقطات مشكلة مزمنة، إلى جانب كونها العائق الأكثر خطورة في وجه التشغيل طويل الأمد لأي من نظم الري الدقيق. فالاهتمام غير الكافي بالخصائص المادية والبيولوجية والكيميائية لإمدادات الماء سينتج عنه مشكلات انسداد خطيرة. وعوامل التصميم الأكثر أهمية والتي تؤثر في الانسداد تشمل تصميم المنقط، والترشيح، ونظام المعالجة الكيماوية للماء. وإن تشغيل وصيانة النظام، بما يشمل الغسيل غير الملائم بالدفق لخطوط الأنابيب، سيكون لها تأثيرات رئيسة على مشكلات انسداد نظام الري الدقيق، وكذلك فإن سوء التركيب، مثل وضع أشرطة الري بحيث تكون مواضع التنقيط بها مواجهة للأسفل، هو أمر يساهم بجزء من مشكلات الانسداد بسبب تراكم الرواسب على امتداد قاع شريط الري.

(١٧,١١,١) أسباب الانسداد

قد يطرأ انسداد نظم الري الدقيق عن عامل منفرد أو عن عوامل عدة. والعوامل المادية مثل الطين الصمغي المعلق، والطمي، وغيرها من المواد التي تمر عبر المرشحات، والأنابيب المكسورة، وتداخلات الجذور، وسحب جسيمات التربة إلى داخل فوهات المنقطات، هي من المسببات المادية الشائعة لمشاكل الانسداد. والعوامل الكيميائية مثل

ترسيب الكربونات وأكاسيد الحديد، والجسيمات المترسبة عن عمليات الحقن الكيميائي هي أيضاً من العوامل الهامة لانسداد المنقطات. وبالمثل، فإن العوامل العضوية والبيولوجية مثل الزيوت والطحالب والحشائش، والملوثات البكتيرية، والفطريات، بالإضافة إلى كل من العناكب، والحشرات، والديدان، والأسماك، والضفادع، والقواقع، وأسماك البَطْلينوس الصدفية، وبيضها أو يرقاتها، يمكن لها جميعاً أن تكون من المسببات الرئيسة المساهمة في مشاكل الانسداد. وضغوط النظام المنخفضة، ومعدلات التصرف المنخفضة له سوف تتسبب جميعاً في تفاقم مشاكل الانسداد.

(١٧,١١,٢) الرواسب

إن الغسيل الروتيني بالدفق لخطوط الأنابيب هو أمر مطلوب لمنع انسداد المنقطات نتيجة للتراكم المنتظم للجسيمات التي هي أصغر من أن يتم حجزها بالمرشحات، والتي تستقر بالخارج أو تلبد عند النهايات البعيدة لخطوط الأنابيب. ولابد لسرعات الغسيل بالدفق أن تبلغ حوالي ٠,٦ م/ث لضمان نقل وتصريف الجسيمات المترسبة من خطوط الأنابيب. و هذا الأمر يستلزم معدلات تصرف عند نهاية خطوط الأنابيب تبلغ حوالي ٠,١٢ لتر/ث للأنابيب بقطر ١٥ مم، وتبلغ ٠,٢٢ لتر/ث للأنابيب بقطر ٢٢ مم. أما تكرارية الغسيل بالدفق فلابد أن تكون على الأقل مرة في الشهر، ولكنها ستكون متغيرة طوال الموسم اعتماداً على معدل تراكم البقايا والجسيمات. أما تطبيق استخدام المواد النشطة السطح أو عوامل القشع (الإجلاء) مثل هكساميتافوسفات الصوديوم "الصوديوم السداسي متعدد الفوسفات" خلال نظام الري الدقيق، فهو أمر قد يعمل على الحدّ من بعض مشكلات الانسداد، من خلال منع تلبُّد الطمي والطين الصمغي، بأن يسمح لها بالمرور السلس عبر المنقطات أو بأن يغسلها بالدفق من خطوط الأنابيب.

وأحياناً يتم استخدام الصمامات الآلية للغسيل بالدفق عند نهاية الخطوط الفرعية للمساعدة في دفق الجسيمات الدقيقة عند بداية كل نوبة ري، وعلى كل الأحوال، فإن الغسيل اليدوي الدوري بالدفق لا يزال مطلوباً. فاستخدام تلك

الصمامات ليس مستحسنا بوجه عام ؛ لأنها تميل لأن تُسرّب وتهدر الماء، مما يستلزم صيانة إضافية، إلى جانب تكلفة الشراء الإضافية. كما أن استخدام مثل تلك الصمامات مع عملية الري الكيميائي يكون أمراً مثيراً للمشاكل بسبب حالات التسريب واحتمالية تراكم المواد الكيماوية في هذه المواضع.

(١٧,١١,٣) الطحالب والأوحال البكتيرية

إن الحقن بالكلور هو الطريقة الأكثر انتشار والأقل تكلفة لمنع الانسداد بسبب النمو البيولوجي (لكل من الطحالب، والأوليات المتطفلة، وبكتريا الكبريت، وغيرها من الكائنات المخاطية الأخرى). وكذلك يمكن للبكتريا التي تقوم بترسيب الحديد والكبريت والمنجنيز، أن يتم مكافحتها بشكل فعال واقتصادي بواسطة المعالجات بالكلور.

أما كبريتات النحاس، والكلور ومركبات الكبريت العضوية، فيتم استخدامها لمكافحة الطحالب و/أو الاوحال البكتيرية في نظم التنقيط وكذا في البرك والقنوات. وسوف تتباين درجة المكافحة مع تباين ظروف الضوء ودرجة حرارة الماء، فبعض المواد الكيماوية مثل الأمونيوم الرباعي، تكون فعالة حين يكون نمو الطحالب ما بين بطيء إلى معتدل، ولكنها ستفشل في ظل ظروف النمو السريع للطحالب. وقد يقتصر القائمون بالزراعة العضوية على استخدام كبريتات النحاس بتركيزات تتراوح ما بين ١٠٠ و٢٠٠ مجم/لتر لمكافحة الطحالب، اعتماداً على الضوابط المحلية.

وفي بعض الأحيان يمكن لبكتريا التربة أن يتم سحبها إلى داخل المنقطات مما ينتج عنه غرين تلتصق به جسيمات صغيرة ومن ثم تسد الفوهات. ولقد كانت هذه الأنشطة ناجحة إلى حدّ معقول، ولكنها كانت باهظة التكلفة، وقد حل محلها المحاليل القوية لحمض الهيدروفلوريك بتركيز ١٠٠ مجم/لتر المزوجة مع المواد النشطة السطح (Wuertz, 1992).

(١٧,١١,٤) الانسداد الكيميائي

يمكن للجسيمات الكيميائية المترسبة أن تتسبب في انسداد نظم الري (Nakayama and Bucks, 1986; Hills *et al.,* 1989, Burt and Styles, 1994; Burt *et al.,* 1995).

والجسيمات المترسبة من أكاسيد الحديد (ذات اللون البني المائل للحمرة)، وكبريتيدات الحديد (ذات اللون الأسود)، وكربونات الكالسيوم (ذات اللون الأبيض) وأكاسيد المنجنيز (ذات اللون الأسود) في ماء الري يمكن لها جميعا أن تعمل على انسداد المنقطات. كما أن التغيرات في كل من الرقم الهيدروجيني (pH)، ودرجة الحرارة، والضغط، ومستويات الأكسجين المتحلل، ونوبات الحقن بالكلور، وغيرها من الكيماويات الأخرى (مثل بعض الأسمدة) يمكن أن تعمل جميعها على تحفيز الترسيبات الكيميائية. أما نظم إمدادات المياه الجوفية فتميل لأن يكون لها مشاكل مع الترسيبات الكيميائية، أكبر من الماء السطحي، والجسيمات المترسبة التي تتشكل غير قابلة للذوبان قد لا تتحلل حتى بعد المعالجات مثل خفض حمضية الماء، أي خفض الرقم الهيدروجيني (pH) أو الحقن بمواد إذابة خاصة.

والتركيزات المتراوحة ما بين ٠,١٥ و٠,٢٢ مجم/لتر من الحديد (أكبر من ٢ مجم/لتر) في ماء الري قد تكون أمراً مثيراً للمتاعب حين يتجاوز الرقم الهيدروجيني (pH) الرقم ٥. أما تركيزات أكاسيد الحديد والمنجنيز الأكبر من ٢ مجم/لتر فستحتاج إلى معالجة إذا ما كان الرقم الهيدروجيني (pH) يبلغ الرقم ٤ أو أكثر. فالحقن بالكلور سيتسبب في أكسدة وترسيب الحديد والمنجنيز (بالإضافة إلى قتل أي بكتريا مرسبة للحديد وغيره قد تكون موجودة). والتوصيات العامة هنا تشمل حقن ١ مجم/لتر من الكلور الحر لكل ٠,٧ مجم/لتر من الحديد القابل للذوبان، أو ١,٣٣ مجم/لتر من الكلور الحر لكل ١ مجم/لتر من المنجنيز القابل للذوبان قبل نظام الترشيح. أما مشكلات الكالسيوم والماغنسيوم فأفضل علاج لها هو الحقن بالأحماض للإبقاء على الرقم الهيدروجيني (pH) فيما بين ٦,٠ و ٦,٦. والتخزين المؤقت للماء في البرك وغيرها من حاويات التخزين المفتوحة الأخرى، فهو معالجة مسبقة يوصى بها مع المناسيب المرتفعة من الحديد (أكبر من ٤ مجم/لتر) والمنجنيز لتيسير المزيد من الأكسدة والترسيب قبيل دخولها إلى نظام الري.

أمـا الانـسداد بواسـطة جـسيمات ترسـيب كيميائيـة أخـرى فـيمكن في الغالـب خفضه من خلال المعالجة بالأحماض لتقليل الرقم الهيدروجيني (pH) ومنع جسيمات الترسيب مـن التكـون، مـع تجنب حقـن الأسمـدة غـير القابلـة للـذوبان، أو مخـاليط الأسمدة/ والكيماويات غير المتجانسة، ومع الغسيل المنتظم بالدفق لخطـوط الأنابيـب. ومن الممكن خفض مخاطر ظهـور مـشكلات تكـون ترسـيبات مـن خـلال حقـن مختلـف المواد الكيماوية غير المتجانسة بعناية في مواضع مختلفة في الأنبوب الرئيسي بحيث تخفـف بشكل كاف وتمتزج قبيل أن يتم حقن المادة الكيميائية التالية. وعلى سبيل المثال، لابد أن تتم المحافظة على مسافة تباعد تبلغ ١ م بين نقاط حقن الحمض والكلور.

(١٧,١٢) الري بالتنقيط تحت السطحي

الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يستخدم خطوط أنابيب فرعية، ومنقطـات مدفونة لإضافة الماء بشكل مباشر في الحيز الجذري للنبات، حيـث يـتم وضـع الأنابيب الفرعيـة علـى عمـق كـاف لتجنـب الـضرر مـن عمليـات الحراثـة المعتـادة للتربـة، ولكنـه يكـون عمقـاً ضـحلاً بمـا فيـه الكفايـة بحيـث يعـاد توزيـع المـاء في الحيـز الجـذري الـنـشط للمحصول بفعل الخاصية الشعرية. ولابد لنظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) أن تكون متوافقة مع نظم التهوية والزراعة الإجمالية المستخدمة.

وتـشير المـستويات التجاريـة ومـستويات اهتمامـات المـزارعين الحاليـة إلى أن الاستخدام المستقبلي لـنظم الـري بـالتنقيط تحـت الـسطحي (SDI) سيتواصـل ازديـاداً، ونظم الري بالتنقيط تحـت الـسطحي (SDI) تـستدعي أعلـى مستويات الإدارة بـين كـل نظم الري الدقيق، وذلك لتجنب الصيانة العلاجيـة. ونظـام الـري الـري بـالتنقيط تحـت السطحي (SDI) رديء التصميم يكون أقل في إمكانية إصلاحه من نظام الـري بـالتنقيط الـسطحي المـصمم بـشكل غـير لائق. ففـي حالـة الـري بـالتنقيط تحـت الـسطحي (SDI) يكـون مـن الـصعب والمكلـف إصـلاح أوجـه القـصور ومـشكلات توزيـع المـاء. وتقـدم

دراسة لام وكامب Lamm and Camp (2007) مراجعة ممتازة وتفصيلية للري بالتنقيط تحت السطحي (SDI).

وهذه النظم تتطلب تدابير وقائية، وإجراءات تشغيل خاصة لمنع الانسداد ولتيسير عمليات الصيانة، ولكنها تحظى كذلك بالعديد من المزايا. وقد قدمت دراسة جورجنسون ونوريم Jorgenson and Norum (1992) نظرة عامة للنظرية الكامنة وراء نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، إلى جانب تقديمها لتجارب وتطبيقات متنوعة من طرف المزارعين، أما دراسة كامب Camp (1998) فقد جهزت تلخيصاً وتحليلاً ممتازين للنتائج المنشورة للأبحاث على الري بالتنقيط.

أما دراسة فيني وآخرين Phene *et al.* (1987a; 1992) ودراسة فيني Phene (1995) فقد أدرجتا أربعة من الخصائص التشغيلية المميزة لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) فيما له صلة بتركيبات نظم الري بالتنقيط السطحي، في ضوء كل من عامل المحافظة على الماء، وعامل الملوحة. وهذه الخصائص هي:

- يبقى أعلى سطح التربة جافاً، مما يقلل من البخر السطحي إلى معدل نقل انتشار البخار، ويحد من تراكمات الأملاح على السطح.
- استخدام تكرارية ري عالية للغاية (عدة مرات في اليوم الواحد) تتماشى مع الاستهلاك المائي الفعلي للمحصول، هو أمر سينتج عنه مقدار ثابت من التربة المبللة، مع ميل هيدروليكي صاف متصاعد، مما يقلل من التسرب.
- إضافة الماء والعناصر المغذية بشكل مباشر إلى النطاق الجذري هي أمر يسمح لامتصاصية الجذور بأن تكون فعالة إذا كانت جدولة الري والتسميد ملائمة.
- قشور التربة والتي قد تعيق التسرب وتسبب تكون البرك والجريان السطحي يتم تجنبها ومن ثم تصبح تفاوتية التسرب السطحي غير ذات أهمية.

كذلك وجدت دراسة كامب وآخرون Camp *et al.* (1987) ودراسة قريمز وآخرين Grimes *et al.* (1990) أن توزيع ماء التربة يكون أكثر انتظاماً في نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) منه في نظم الري بالتنقيط السطحي.

وفـي ظـل وجـود إدارة ملائمـة، نجـد أن نظـم الـري بـالتنقيط تحـت الـسطحي (SDI) الجيـدة التـصميم والإدارة تقـدم العديـد مـن المزايـا الأخـرى للمـزارعين بـسبب قابليتها لكل من:

• الإبقاء على إمكانية وصول معـدات الحراثـة، والزراعـة والـرش والحـصاد إلى الحقول بشكل لا تعوقه عملية الري.

• الحصول على إمكانية قضاء أفضل على الحشائش باستخدام الحد الأدنـى مـن المواد الكيماوية لأنه يكون هناك استنبات أقل للبذور مع أسطح التربة الجافة.

• التطبيق الفعال والآمن لاستخدام مبيدات الآفـات الزراعيـة المـصنفة، ومـواد تطهير التربة بالتبخير، للمكافحة المحسنة للأمراض والآفات.

• خفض البلـل الـسطحي غالباً مـا يقلـل مـن إمكانيـة ظهـور الأمـراض الفطريـة (مثل العفن والعفن الفطري) من خلال الإبقاء على أسطح النباتات أكثر جفافاً وعلـى الهواء أقل رطوبة في داخل ظُلّة النبات.

• التقليل من تعرض العمال لمبيدات الآفات عندما يتم إضـافة المـواد الكيماويـة أسفل سطح التربة.

• اسـتخدام الحـدّ الأدنـى مـن الحراثـة، والأحـواض الدائمـة، ونظـم المحاصـيل المختلفة (Bucks *et al.*, 1981) على الرغم مـن استمرار وضـع الكثير مـن التعـديلات الضرورية في المعدات وفي أساليب الفلاحة.

• التقليل إلى الحدّ الأدنى من حساسية معـدل التـصرف لتقلبـات درجـة الحـرارة لأن المنقطات تحميها التربة.

كـذلك فـإن دراسـة فـيني وآخريـن Phene *et al.* (1987a; 1992) ودراسـة Phene (1995) قد عددتا العديد من العيوب التي تشمل:

• التكلفة الابتدائية للنظام قد تكون مرتفعة.

• احتمالية التلف بفعل القوارض.

• الأملاح قد تتراكم فيما بين خطوط المنقطات وسطح التربة.
• التحرك المنخفض للماء نحو الأعلى في التربة ذات القوام الخشن.
• الاحتمالية العالية لانسداد المنقطات.
• عدم كفاية الخبرة الفنية وانتشار المعلومات والتجارب الشخصية فيما بين المزارعين والباحثين.

أما المشاكل النوعية التي تم رصدها فتشمل الانسداد بواسطة أطراف الجذور (Tollefson, 1988; Bui, 1990) وانضغاط الخراطيم بسبب فعل الكبس أو العصر بواسطة الجذور الكبيرة (Bui, 1990)، والتلف بفعل القوارض والحشرات (Bui, 1990). وبالإضافة إلى ذلك، فإن التحكم في الخصوبة يصير أمراً أكثر أهمية مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) لأن الجذور تميل للنمو بشكل أعمق مما هو الحال مع نظم الري بالتنقيط السطحي، كما أن بعض العناصر المغذية التي يتم إضافتها عبر السطح قد لا تتوافر بشكل كاف (Phene, 1995).

وقد لوحظ ظهور نطاق واسع من الزيادات في إنتاجية المحاصيل في ظل نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) عند مقارنتها بنظم الري السطحي، أو بالرش، أو حتى بنظم الري بالتنقيط السطحي، حيث كان الفرق يتراوح ما بين أصغر من وأكبر من ١٠٠٪. وقد أجريت البحوث على نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع محاصيل شملت القطن (Plaut *et al.*, 1985; Tollefson, 1988; Constable and Hodson, 1990; Hutmacher *et al.*, 1995)، والذرة الحقلية (Lamm *et al.*, 1995) والذرة الحلوة (Bar-Yosef *et al.*, 1989)، والطماطم (Davis *et al.*, 1985; Phene *et al.*, 1987a; Grattan *et al.*, 1988; Bogle *et al.*, 1989)، والشمام "الكانتلوب" (Phene *et al.*, 1987b)، والبطاطس (Bisconer, 1987)، والهليون (Sterret *et al.*, 1990)، والبرسيم (Oron *et al.*, 1989; Bui and Osgood, 1990)، والكرنب والكوسة (Rubeiz *et al.*, 1989). وأغلب الزيادات في إنتاجية المحاصيل قد تم عزوها إلى التسميد الأفضل،

والإدارة الأفضل للماء، والانتظامية المحسنة لتوزيع الماء، والمكافحة المحسنة للأمراض والآفات. وقد ذكرت دراسة قراتان وآخرين Grattan *et al.* (1988) المكافحة الأفضل للحشائش على أنها العامل الرئيسي في الزيادات المرصودة في إنتاجية المحاصيل، أما دراسة مور وفيتشين Moore and Fitschen (1990) فقد ذكرت أن تحول ٥٩٠٠ هكتار مخصصة لزراعة قصب السكر في هاواي من نظام الري بالشرائح إلى نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) عبر فترة ١٢ سنة هو أمر قد نتج عنه متوسط زيادة صافي في إنتاجية المحصول بلغ ٢٧٪.

(١٧,١٢,١) تصميم نظم الري بالتنقيط تحت السطحي SDI

يجب أن تتبع التصميمات نفس الشروط العامة المذكورة مع كافة نظم الري الدقيق، وعلى كل الأحوال، فإن إعطاء اهتمام إضافي بأمور مثل التسرب، ومعالجة الماء، وتنظيم الضغط، واختيار المواضع الملائمة لصمامات عدم الرجوع، وصمامات تفريغ الهواء، وعملية الغسيل بالدفق، هو عامل حاسم في نجاح نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI). وكما هو الحال مع نظم الري الدقيق السطحية، نجد أن حقن المواد الكيماوية والأسمدة هو أمر لابد أن يكون متوافقاً مع كافة المواد الكيماوية الأخرى المحقونة، كما نجد أن التحكم في الرقم الهيدروجيني (pH) أمر هام.

وكل من أشرطة الري وشبكات الأنابيب قد تم استخدامها بشكل ناجح مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، وقد ناقشت دراسة سولومون Solomon (1992) معايير موازنة وانتقاء أدوات التنقيط لنظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI). ومن بين العوامل الرئيسة في إطالة عمر هذه النظم، نجد سمك جدار شريط الري، حيث أشرطة الري ذات الجدران الأكثر سماكة تدوم أكثر. وعلى كل الأحوال، فحتى أشرطة الري الأكثر سماكة تحتاج إلى اعتبارات خاصة ولابد من أن يتم دفنها عميقاً بما يكفي لتجنب أن تؤذيها معدات الحرث أو الحصاد، على أن تكون ضحلة بما يكفي لمنع الانهيار الدائم لشريط الري بفعل وزن التربة أو العمليات الزراعية. وأشرطة الري في

نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) غالباً ما يتم استخدامها مع المحاصيل عالية القيمة، وضحلة الجذور (مثل الفراولة)، والمحاصيل السنوية أو النصف سنوية (مثل مختلف الخضروات، والبطيخ، وقصب السكر، والقطن). وبشكل نمطي يتم وضع الأشرطة على أعماق أكثر ضحالة في الأحواض شبه الدائمة القليلة الحرث أو على الأراضي قليلة الانحدار أو قصيرة الامتدادات لأن أشرطة الري ليست معادلة للضغط. وكقاعدة عامة، لا ينبغي أبداً أن يكون هناك أي مرور لعجلات معدات الزراعة أو أي أنشطة أخرى مباشرة فوق شريط الري قد تؤدي إلى انضغاط التربة وتبطيطه، مما قد يؤدي إلى تدمير نفعيته بشكل دائم.

إن الأنابيب يتواتر استخدامها أكثر مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، مع المحاصيل الحولية، وقدّ يتم وضعها على أعماق أكبر مما في حالة المحاصيل السنوية. ووجود المنقطات المعادلة للضغط على خطوط الأنابيب يسمح باستخدام نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) على تضاريس متباينة ذات انحدارات حادة. فالأنابيب هي أكثر ثباتاً، ومن ثم فهي أكثر مقاومة للكبس والإنضغاط، ولكن لابد من اتباع نفس اعتبارات التشغيل العامة المتبعة مع أشرطة الري.

والخطوط الفرعية المنفردة لشبكات الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) غالباً ما يتم وصلها بالأنابيب الموزعة عند كلا الطرفين العلوي والسفلي في الأنابيب. فالأنابيب الموزعة السفلية بشكل نمطي تعمل على توفير مرونة أكبر، وتعمل على توفير الوقت مع عمليات الغسيل بالدفق. كما أن الإنفاق الإضافية ستخلق نظاماً هيدروليكيا مزدوجاً يمكنه تطبيق الماء من كلتا نهايتي الخط الفرعي. ويمكن لذلك أن يكون ذا نفع عبر أمد قصير إذا ما كان أحد الخطوط الفرعية المنفردة قد كبسها ضغط الجذور أو التربة والناتج عن معدات الزراعة. وكما أن توفير الاستعدادات اللازمة لضمان التفريغ الملائم للهواء على الخطوط الموزعة لكل من وحدة التوزيع الرئيسة ووحدة الغسيل بالدفق، يعتبر من الأمور الحاسمة في خفض مشكلة انسداد المنقطات نتيجة

لحبيبات التربة التي يتم سحبها إلى داخل الفوهات بواسطة ظروف التفريغ الهوائي عند الإغلاق.

وعملية تبليل سطح التربة، أو ما يعرف باسم "التسطيح"، تعمل على إلغاء الكثير من منافع أسلوب الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، وهي في العادة عملية غير مرغوب فيها، لاسيما مع المحاصيل الدائمة، إذ يمكن لهذه العملية أن تزيد من نمو الأعشاب البحرية، وتحرك الأملاح إلى السطح، وتزيد البخر من التربة، وتزيد من فرص ظهور الأمراض الفطرية. ولتقليل الآثار السلبية لعملية التسطيح يستلزم استخدام أغطية المهاد المصنوعة من طبقات فيلمية من البلاستيك، واستخدام ممارسات أكثر صرامة لإدارة المياه والتربة. ومن جهة أخرى، نجد أن عملية التسطيح تكون ملائمة أحياناً من أجل ضمان تبليل ملائم عبر كامل اتساع أحد أحواض الزراعية لضمان الإنبات، وتطهير التربة بالتبخر، و/أو لضمان النمو السليم للمحاصيل غير عميقة الجذور (مثل البصل).

وعملية التسطيح هي نتيجة لمعدلات تطبيق الماء التي تتجاوز معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة الغدقة. وعلى كل الأحوال، فإن هذه العملية قد تظهر أيضاً إذا ما كان قد تم وضع الأنابيب على عمق ضحل للغاية، وكان السطح قد تبلل نتيجة الخاصية الشعرية، أو إذا ما كان الماء المنبعث من مختلف المنقطات يسري عبر الأنابيب الفرعية ويتجمع عند نقطة ما، مع كون الارتفاع المنخفض في الجاذبية يدفع الماء إلى سطح التربة. بالإضافة إلى ذلك، فإن عملية التسطيح هذه قد تكون هي المحصلة النهائية للعمليات الكيميائية التي تعمل بشكل فعال على خفض معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة الغدقة، والتي تشمل المياه عالية البيكربونات، والتي تعمل على ترسيب الكالسيوم وسدد مسام التربة، أو تشمل تطبيق استخدام مياه الري بمعامل توصيل كهربي منخفض على التربة الملحية أو المشبعة بكربونات الصوديوم، أو تشمل تطبيق الماء ذي مستويات الصودا العالية (انظر الفصل السابع). وقد حاول بعض المزارعين في

ولاية كاليفورنيا باستخدام السيقان ورد ضيقة أعلى آلة تركيب خطوط الأنابيب المدفونة من أجل الحرث فيما هو أعمق من موضع خطوط الأنابيب كطريقة للحد من عملية التسطيح، مع الخروج بنتائج مختلطة.

ومع ذلك، فإن تجاوز معامل التوصيل الهيدروليكي الفعال للتربة الغدقة مع أنظمة الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يتسبب في أن يتم تصريف الماء ضد الضغوط الأعلى من الضغط الجوي، مما يدفع بالماء إلى سطح التربة. ولأن الصناع يقومون بتصميم المنقطات بحيث تقوم بتطبيق الماء في ظل الضغط الجوي، فإن هذا الضغط المرتد يعمل على خفض معدلات تصرف المنقطات بما يبلغ ٥٠٪ Warrick and Shani, 1996 ،(Shani *et al.*, 1996) ،Sadler *et al.*, 1995. ومن ثم فإن عملية التسطيح تؤثر بشكل عكسي على الانتظامية والقدرة على جدولة مقادير تطبيق الماء بشكل دقيق، وكذلك فإنها تطرح دلالات هامة للتصميم وكذا للإدارة.

وغالباً ما تتسب عملية التسطيح في خلق ظاهرة القوام الخفيف "المداخن" حيث يتم غسيل حبيبات التربة الدقيقة بالدفق من حول المنقط مما ينتج عنه ممر مباشر منخفض الضغط إلى سطح التربة، مما يميل إلى جعل المشكلة أكثر سوءاً. وهذه المداخن سوف تختفي في بعض الأحيان بعد عام أو اثنين حيث ينضبط تركيب التربة، أو ممراتها مع تشعب الأنابيب، ولكن عادة ما يحتاج إصلاحها إلى حرث التربة. والدفق القصير المتكرر لتطبيق المياه طوال اليوم قد يساعد على خفض مشكلات عملية التسطيح. والمياه ذات معامل التوصيل الكهربي (EC) المنخفض قد تستلزم حقن مسحوق جبس ناعم الحبيبات (أي أكبر من ٢,٥ مكافئ/لتر) أو غيره من محسنات التربة الأخرى إلى الماء لتحسين الامتصاص في التربة الغدقة بكربونات الصوديوم.

ولتجنب مشكلات التسطيح هذه، نجد أن المنقطات في نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) تميل لأن يكون لها معدلات تصرف أصغر ومسافات تباعد بينها أصغر مما في نظم الري بالتنقيط السطحية، ومن ثم تزداد بها احتمالية الانسداد. وبناء

عليه، نجد أن المرشحات لابد من أن يتم تصميمها لتعمل على التخلص من الحبيبات الصغيرة البالغة ما بين ١٥٠ إلى ٢٠٠ ميكرون. أما صمامات عدم الرجوع، والفاصلات الهوائية، ومنافذ التهوية، فلابد من أن يتم تركيبها بحيث تمنع عمليتي الامتصاص العكسي والسحب لحبيبات التربة إلى داخل فوهات المنقطات عند غلق النظام. ولابد للتصميمات من أن تضمن أن كل أنبوب فرعي يمكن غسيله بالدفق بشكل لائق.

(١٧,١٢,١,١) الاعتبارات الخاصة بالعمق

والعمق المثالي لخطوط الأنابيب في نظام الري بالتنقيط السطحي (SDI) هو أمر يعتمد على معدل التصرف، والمسافة بين المنقطات، ونوعية التربة، والتوزيعات الجذرية للمحاصيل مع الحركة الدوارة للماء من أجل استنبات البذور (التي تتأثر أيضاً بعمق البذرة وملوحة التربة)، وبرامج عملية الري الكيميائي، ومدى الرغبة في عملية التبليل السطحي. ولابد من أن يتم دفن الأنابيب على عمق كاف بحيث لا تتضرر من جراء المعدات، ولكن أيضاً بشكل ضحل بما يكفي لحركة الماء إلى النطاق السطحي للمحصول. وقد يتم ضبط أعماق أنابيب، وأشرطة الري، في أنظمة أحواض الزراعة من خلال استخدام المعدات لنقل أو استبدال التربة.

ومن المستحسن بوجه عام أن يتم وضع الأنابيب على عمق ضحل قدر الإمكان بدون التبليل السطحي، لأن معظم أنشطة استبدال الهواء والأنشطة الحيوية للجذور تقع في الطبقات الدنيا للتربة. وكقاعدة عامة، نجد أن الأنابيب يتم وضعها على أعماق أكثر ضحالة في التربة الخشنة، وبشكل أعمق قليلا في التربة الناعمة. ومعظم نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يتم تركيبها على أعماق تبلغ ما بين ١٠ إلى ٥٠ سم. ويمكن تركيب نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الصفية الضحلة الجذور، مثل الفراولة، أو البصل، على عمق يبلغ ما بين ٢ إلى ٨ سم، ويبلغ ما بين ٤٠ إلى ٥٠ سم مع محاصيل مثل القطن، أو الذرة الصفراء، أو

البطاطس، أو بنجر السكر. وكثير من محاصيل الخضر تستخدم الأنابيب الفرعية لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) عند عمق يتراوح ما بين ١٥ و٢٠ سم قرب الشتلات. أما منتجات أشرطة الري الرقيقة الجدران فنادراً ما يتم دفنها على عمق أكبر من ١٥ سم أسفل السطح في أحواض الزراعة.

وهناك توازنات فيما يخص عمق موضع الأنابيب، وقد بينت دراسة فيليب Philip (1991) أنه في حالة السريان المستقر لمصدر ري تحت سطحي، فإنه كلما ازداد عمق المصدر عن الجذور، ازداد التسرب وقل تبخر التربة. أما دراسة بارث Barth (1995) فقد ناقشت وضع حواجز غير منفذة من ورق القصدير المخروطية على شكل الحرف (V) تحت الأنابيب الفرعية لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) للتحكم في حركة الماء إلى أسفل، وقدمت نتائج طيبة مع التربة الرملية. فأما التركيبات الأكثر عمقاً لنظم الري فقد قللت من استنبات الحشائش السطحية كما أنها تسمح بالمزيد من عمليات حراثة التربة. وعلى كل الأحوال، إذا كانت الأنابيب الفرعية عميقة جداً، فإن الكثير من الماء سيتم تطبيقه أسفل النطاق الجذري للمحصول، مما يقلل من النشاط الحيوي (الهام لامتصاص العناصر المغذية) في طبقات التربة الضحلة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن نظم الري العميقة قد تحد من إمكانية استنبات بذور المحصول، وتحد من استخدام بعض من المواد الكيماوية المستخدمة على السطح. وقد يكون من المستطاع حقن الهواء من خلال أنابيب أعمق لتشجيع المزيد من نمو الجذور، ونمو الأنشطة الحيوية في التربة، إلى جانب تهوية التربة الغدقة بالهواء، ولكن تلك الممارسة لم يتم التحقق منها بشكل كلي بعد. أما الأعماق الضحلة فقد ينتج عنها ملوحة جائرة في سطح التربة نتيجة استخدام المياه المالحة، كما أنها قد تكون أكثر عرضة للتلف من حفر القوارض والحشرات. أما المواضع الأعمق للأنابيب فسوف تتطلب قوة جرار زراعي أكبر من أجل التركيب.

الموضع الضحل للأنابيب قد يكون أمراً ضرورياً لإضافة الماء قرب سطح التربة مع الشتلات ذات النطاقات الجذرية المحدودة. وبالنسبة لبعض الترب يمكن تبليل مرقد

البذرة من على عمق يتراوح بين ٣٠ و٥٠ سم. وعلى كل الأحوال، في التربة ذات الخشنة، قد يكون لابد من وضع المنقطات في حدود ما بين ٥ و٢٠ سم من السطح.

(١٧,١٢,١,٢) نظام الري بالتنقيط تحت السطحي مع المحاصيل الصفية السنوية

ناقشت دراسة هانسون وآخرين Hanson *et al.* (1994) تركيب وتشغيل وصيانة نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الصفية، فالمحاصيل الصفية السنوية يمكن زراعتها في أحواض مؤقتة أو مستديمة، سواء مع أو بدون استخدام أغطية المهاد البلاستيكية. وعلى كل الأحوال، من الضروري في بعض الأحيان استخدام الري بالرش من أجل تنشيط مبيدات الحشائش أو لاستنبات المحاصيل ذات البذور الصغيرة مثل الخس أو البصل، لاسيما في ظل ظروف التربة المالحة. فأما المنقطات ذات معدلات التصرف العالية، أو أشرطة الري ذات مواضع التنقيط المتقاربة (كل ٢٠ إلى ٤٥ سم) والتي تعمل جميعاً على تبليل سطح التربة فهي شائعة جميعاً مع المحاصيل السنوية. أما أشرطة الري الضحلة العمق فمن المتوقع لها بوجه عام أن تعيش لفترة تتراوح ما بين عام واحد وعامين، على الرغم من أن بعض نظم الري ذات أشرطة الري ذات الجدران الأكثر سماكة في أحواض الزراعة الدائمة قد تدوم لفترة تبلغ ما بين ٥ إلى ١٥ سنة. وهذه تحتاج إلى ممارسات حرث وزراعة خاصة (مثل حركة مرور محكومة للآلات الزراعية مع وجود مسارات محددة للعجلات) وذلك لتجنب تعريضها للتلف. ولضمان تبليل ملائم للنطاق الجذري للمحاصيل السنوية، ولتجنب المناطق الجافة نتيجة لانسداد، لابد عندئذ من المباعدة بين المنقطات بمسافات متقاربة بما فيه الكفاية لإنتاج شكل بلل متداخل ذي مصدر توزيع خطي للماء. والمباعدة بين خطوط المنقطات أو أشرطة الري غالباً ما تبلغ ما بين ١ و١,٥ م، ولكنها ستتباين اعتماداً على نوع التربة، والخصائص المميزة للمحصول، والممارسات الزراعية.

إن استخدام نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الصفية السنوية أو النصف سنوية أمر قد يتطلب تثبيت مسافة منتظمة بين الصفوف لكافة المحاصيل المستخدمة في الدورة الزراعية وإعادة الزراعة في نفس المواضع. فإن لم يتم اتباع

تلك الممارسات، فإن موضع أنبوب التنقيط الفرعي قد يتفاوت ما بين أن يكون متمركزاً أسفل مرقد البذرة والصف، إلى أن يكون موضوعاً أسفل أخدود (أو شق) الزراعة. وعلى كل الأحوال، فقد أوضحت نتائج الدراسات أن إنتاجية المحاصيل لم تنخفض حين لم تكن أنابيب التنقيط متمركزة بالضبط أسفل مرقد البذرة (Ayars *et al,* 1995) مع محصول القطن. ولكن، احتمالية التلف بفعل الميكنة الزراعية اخذت تزداد مع ترحيل خط الأنابيب الفرعية من المركز نحو حافة جورة البذرة. وسوف تساعد ظهور التقنيات الحديثة، مثل التوجيه الآلي على الجرارات الزراعية وآلة الحصاد، على ضمان توافر محاذاة ملائمة فيما بين الأحواض وخطوط أنابيب التنقيط عاماً بعد عام.

(١٧,١٢,١,٣) نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الحولية

نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع محاصيل الأعناب أو الأشجار الحولية، لابد أن تكون له فترة دوام تشغيل متوقعة تبلغ ما بين ٧ و٢٠ سنة مع ملاءمة التصميم والصيانة. وتعتبر الأعماق ما بين ٢٠ و٤٠ سم أعماقاً شائعة، مع بلوغ بعدها ما يقرب من ١ م اعتماداً على نمط نمو جذور المحصول ونوع التربة. وبوجه عام، نجد ان المنقطات منخفضة التصرف (أقل من ٤ لتر/ساعة) يتم استخدامها للإبقاء على سطح التربة جافاً ولخفض النمو السنوي للحشائش. وتقدم دراسة سشونكل وآخرين Schwankl *et al.* (1995) مناقشة تفصيلية حول محاصيل الأشجار والأعناب المروية بنظام الري الدقيق.

(١٧,١٢,٢) التركيب

معظم نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يتم تركيبه بواسطة ساق حاقن مثبت على جرارات زراعية ولها شكل قطع مكافئ، ولها رؤوس أطراف مدببة أو نقطية الشكل لتصنع تجويفاً لشريط الري أو الأنابيب. ويوصى باستخدام ساق اهتزازية لتركيب نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) على أعماق أكبر من ٢٠ سم؛ لأنها تتطلب قدرة حصانية أقل، كما أن القطع عبر الجذور وحول الصخور يكون ايسر،

كذلك التجويف فيما حول الأنابيب يميل لأن يُعاد ملؤه بشكل سريع. وكما هو مذكور من قبل، لابد للمنقطات من أن توضع ووجهها لأعلى وذلك للعمل على الحد من الانسداد نتيجة لتراكمات الحبيبات في قاع خطوط الأنابيب فيما بين نوبات الغسيل بالدفق. وكذلك لابد من تجنب ليّ خطوط التنقيط ومطها (أي شدها بشكل جائر) خلال عملية التركيب، وتناقش دراسة لام وآخرين Lamm *et al.* (1995) بعض المشكلات المرتبطة بتركيب نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI).

وفي العادة يتم أولاً تركيب خطوط الأنابيب الفرعية، ويتم حفر خنادق الخطوط الرئيسة أو الموزعة بشكل متقاطع مع الخطوط الفرعية وعلى عمق حوالي من ٠,٣ إلى ٠,٥ م أعمق من خطوط الأنابيب الفرعية، مارقة خلال خطوط الأنابيب الفرعية المركبة سلفا. ولابد أن تكون الخنادق أضيق ما يمكن حتى توفر تثبيتاً جانبياً للأنابيب البلاستيكية PVC منخفضة الضغط. وغالباً ما يتم تجميع الخطوط الرئيسة وشبه الرئيسة على السطح، ثم يتم إنزالها إلى داخل الخنادق. والخنادق المفتوحة توفر وصلات سهلة، وتيسر من عملية الفحص الهيدروليكي لكافة الملحقات وخطوط الأنابيب الفرعية، من خلال السماح بالفحص البصري للتأكد من سلامة التشغيل. بالإضافة إلى ذلك، يمكن بسهولة إصلاح حالة التسرب. أما أي ملحقات معدنية أو أسلاك مستخدمة في عمل الوصلات فلابد من أن تكون جميعاً من الصلب المقاوم للصدأ (الإستانلس ستييل).

ويتم توصيل الأنابيب الفرعية بالأنابيب الموزعة بشبكة من أنابيب البلاستيك PVC الصلب أو البولي إيثلين PE المرن بحجم يبلغ من ٦ إلى ١٣ مم. أما الوصلات بأنابيب أو أشرطة التنقيط فلابد أن تتلافى أي التواء أو انثناءات حادة. ولابد للقائمين على التركيب من أن يتركوا مساحات كافية من الأنابيب عند الأطراف البعيدة بحيث يمكن بشكل صحيح مد وصلات الغسيل بالدفق. ولابد من الإبقاء على الأنابيب الفرعية متماثلة العمق ومستقيمة قدر الإمكان.

بالإضافة إلى ذلك، لابد للخطوط شبه الرئيسة، والرئيسة أن تكون أعمق من الأنابيب الفرعية وذلك لمنعها من الصرف، ولتسهيل عمليتي بدء تشغيل النظام وموازنة ضغطه. وبالمثل، لابد لصمامات التحكم من أن تكون موضوعة فوق سطح الأرض ليسهل الوصول إليها وللمساعدة على الإبقاء على الخطوط الرئيسة وشبه الرئيسة مليئة بالماء. وإذا ما تم وصل الأنابيب الفرعية بالأنابيب الموزعة من أجل الغسيل بالدفق، عندئذ فإن أنابيب الغسيل بالدفق الموزعة ذات الحجم الملائم لابد من أن تكون على نفس العمق الذي تتخذه الأنابيب الفرعية.

(١٧,١٢,٣) تدخّل الجذور

إن تدخّل الجذور هو مشكلة رئيسة مع أنظمة الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، ويمكن الحدّ منها من خلال المواد الكيماوية، وتصميم المنقطات، وإدارة الماء. فأما ضوابط السيطرة بالمواد الكيماوية فتشمل استخدام مبيدات الحشائش بطيئة الإطلاق (مثل المركب البلوري) المطمورة داخل المنقطات، أو المحقونة بمعدلات منخفضة (حيث تسمح نوعية مبيد الآفات)، أو الحقن الدوري الحذر لمركبات تطهير التربة بالتبخير (مثل مركبات الصوديوم) خلال الماء. وأما التدابير الكيميائية الأخرى فتشمل الحقن المتواتر للكلور (من ٧ إلى ٨ مجم/لتر) لتثبيط نمو الجذور قرب المنقطات. وحقن حمض الفوسفوريك عالي الجودة بتركيز حوالي ١٥ مجم/لتر على أساس مستمر، سوف يقلل من نمو الجذور من خلال تحميض التربة وكذلك سيوفر بعض السيطرة على الطحالب، ولكنه قد لا يؤثر في أنواع معينة من البكتريا. أما برامج مكافحة تدخل الجذور فهي غالباً ما تحتاج إلى استخدام العديد من التدابير.

والمنقطات التي يصيبها الانسداد نتيجة تدخل الجذور قد يتم تسليكها أحياناً من خلال زيادة الضغوط المقترنة بحاقنات الأحماض التي تخفض الرقم الهيدروجيني pH للتربة إلى مستويات منخفضة للغاية (pH أقل من ٤) مقرونة بجرعات عالية للغاية من الكلور (أي ما بين ٣٠٠ و٥٠٠ مجم/لتر) يتم تركها في خطوط الأنابيب لمدة حوالي ٢٤ ساعة على الأقل قبل عملية الغسيل بالدفق وذلك لرد الجذور إلى الخارج. أما حقن

كبريتات النحاس بتركيز (حوالي ١٥ مجم/لتر) فأحياناً ما يكون أمراً نافعاً. غير أن مثل تلك الممارسات يمكن أن تتسبب في إتلاف أنواع معينة من المنقطات وأنابيب الري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن إضافة الماء منخفض الرقم الهيدروجيني (pH) لفترات طويلة، يمكن أن يتسبب في جعل بعض العناصر المغذية غير متوفرة ويخلق ظروف تربة سامة.

ويبدو أن تصميم المنقطات هو من العوامل المهمة في مشكلة تدخل الجذور. فقد لوحظ أن الجذور تميل لأن تتبع شق اللحام في أشرطة الري، وأن المنقطات الموضوعة فوق أو قرب شق اللحام، هي أكثر عرضة للانسداد بفعل تدخل الجذور. وبعض المنقطات وأشرطة الري يتم بناؤها بحواجز مادية خاصة لمنع تدخل الجذور، لكن أغلبها أقل نجاحاً من ضوابط السيطرة الكيماوية. وكل من منقطات نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، أو الأنابيب المسامية، أو أشرطة الري التي لا تتم معالجتها كيميائيا، و/أو لها حاجز مادي ستعاني من مشكلات تدخل الجذور. أما الفوهات الأقل حجماً فتميل لتثبيط تدخّل الجذور، ولكن من السهل أكثر انسدادها بأشياء أخرى (Tollefson, 1988; Bui, 1990).

وأحياناً يكون الري الناقص أمراً مرغوباً فيه لزيادة كل من جودة وإنتاجية المحاصيل، أو للتحكم في النمو الخضري، ولكن استخدامه سوف يزيد من فرص تدخّل الجذور نتيجة لزيادة التركيزات الجذرية في المنطقة المبللة فيما حول المنقطات. أما الدفق العالي التكرارية جدا من أجل إشباع مقدار التربة بشكل متواتر، فسوف يعمل على تثبيط نمو جذور الكثير من النباتات حول المنقط، ولكن جذور بعض النباتات المحبة للماء مثل الكرفس، سوف تنمو بنشاط في التربة الغدقة ويمكنها من ثم أن تسبب انسداد المنقطات.

(١٧,١٢,٤) الغسيل بالدفق

ولأن نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) تتميز بكونها مدفونة، فمن الملائم في الغالب تركيب الخطوط الموزعة للغسيل بالدفق عند الأطراف البعيدة للأنابيب الفرعية، خصوصاً مع خطوط الأنابيب ذات المسافات الفاصلة المتقاربة (أي

من ٣٠ إلى ١٢٠سم). ومن الفعال والاقتصادي أكثر في العادة أن يتم غسيل الخطوط الفرعية بالدفق بشكل فردي لا سيما مع الخطوط الفرعية ذات المسافات الفاصلة الواسعة. وتعتبر متطلبات تصميم الغسيل بالدفق هي نفسها في حالة أنظمة الري السطحية، ولكن قد يتم تعديلها لتلافي كبسها بسبب ضغط الجذور أو التربة والناتج عن معدات الزراعة.

(١٧,١٢,٥) إدارة الملوحة

قد تمثل الملوحة مشكلة مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) في المناطق الجافة وشبه الجافة؛ لأن أي ترشيح فوق الأنابيب لا يظهر إلا كنتيجة للمطر. ومن ثم فإن الأملاح تميل لأن تتراكم في هذه المنطقة خلال الموسم. وقدّ وجد ان تركيزات الملح العالية التي تتجاوز (١٠ مليموز/سم) تتواجد في ٦ إلى ١٠ سم من طبقات التربة العليا (Ayars *et al.*, 1995). وقد أوضحت قياسات توزيع الملوحة أن الأملاح تتحرك إلى ما تحت صف النبات عندما يتم وضع الخطوط الفرعية أسفل أخاديد الزراعة أكثر مما تتحرك إلى ما تحت جور الزراعة (Ayars *et al.*, 1995). وقدّ أوردت دراسة هانسن Hanson (1993) نتائج مشابهة.

(١٧,١٣) الري التحتي

من الاستخدامات غير التقليدية لنظام الري الدقيق تحسين كفاءة الري التحتي. فمع الري التحتي، يكون مستوى الماء الأرضي في الحقل محكوماً عند منسوب يقع مباشرة أسفل النطاق الجذري للمحصول، بحيث يتجه الماء لأعلى إلى داخل الحيز الجذري بواسطة الخاصية الشعرية. ولأن مستوى الماء الأرضي الضحل لابد من تكوينها والإبقاء عليها، من ثم لا يمكن استخدام الري التحتي إلا فقط مع الأراضي المنبسطة نسبياً حيث تتوافر إمدادات مياه كبيرة، وتكون النفاذية الجانبية لطبقات التربة العليا مرتفعة، وتتواجد بالفعل طبقات حاجزة متماثلة من التربة، أو مستويات الماء

الأرضي ضحلة دائمة. ومن ثم فشرط توافر إمدادات مياه كبيرة غير مكلفة يقصر، بوجه عام، استخدام الري التحتي على المناطق الرطبة الخالية من مشكلات الملوحة.

وقد يتم التحكم في مستوى الماء الأرضي على عمق ثابت يسمح له بالتقلب مع تغير النطاق الجذري أثناء نمو المحصول. وفي كلتا الحالتين، تظهر تقلبات مستوى الماء الأرضي النهارية مع انخفاض مستوى الماء الأرضي نتيجة لارتفاع معدلات الاستهلاك المائي المقدّر للمحصول (ET) لأعلى مستوياتها، ثم ما يلبث أن يسترد وضعه ليلاً أو خلال انخفاض الطلب على الاستهلاك المائي المقـدّر للمحصول (ET). ومع نظم الري التحتي، يتم التحكم في مستوى الماء الأرضي في الحقل من خلال التنظيم المادي لمناسيب المياه في خنادق الصرف الحقلية المفتوحة، أو بالسيطرة على الضاغط في أنابيب الصرف تحت السطحية. وغالباً ما يتم استخدام خنادق الصرف الحقلية المفتوحة بسبب انخفاض تكلفتها، وفي بعض المناطق فإن أنابيب الصرف تحت السطحية يمكن أن يصيبها الانسداد بواسطة أكسيدات الحديد الملونة أو غيرها من الترسيبات الكيماوية.

وفي السنوات الأخيرة، شاع استخدام كلا نوعي الري بالتنقيط سواء السطحي أو تحت السطحي في تطبيقات الماء بالري التحتي بدلاً من نظام الصرف. فالماء المستخدم بمعدلات مرتفعة بواسطة نظام الري بالتنقيط يترشح بشكل متسارع إلى مستوى الماء الأرضي. وهذا الماء الفائض يرفع مستوى الماء الأرضي عبر الحقل أعلى بقليل من قاع الحيز الجذري للنبات، ومن ثم يخلق مستوى ماء أرضي مرتفع بشكل مؤقت حيث يتم صرفه ببطء بمرور الوقت.

ومنافع نظم الري بالتنقيط بالنسبة للتحكم في مستوى الماء الأرضي تتمثل في زيادة انتظامية توزيع الماء المضاف، وفي خفض متطلبات ماء الري. فأما الانتظامية فتزداد لأن الماء يتم إضافته بواسطة خطوط الأنابيب الفرعية، والتي يتم التحكم فيها بواسطة الخصائص الهيدروليكية للنظام. أما متطلبات ماء الري فتنخفض لأن الماء يتم وضعه بشكل مباشر في أحواض الشتلات، وبعض الماء يوفره مستوى الماء الأرضي،

ويتم خفض احتمالية الجريان السطحي للماء بشكل كبير. وعلى كل الأحوال، قد يظهر بعض الجريان السطحي لأن حداً أدنى من ميل السطح يكون مطلوباً لتوفير صرف ملائم لماء المطر الزائد.

وقد أوردت دراسة ستانلي وكلارك Stanley and Clark (1991) أن احتياجات ماء الري لإنتاج الطماطم في جنوب فلوريدا قد تم خفضها إلى ما بين ٣٣٪ و٤٠٪ مع نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) بالمقارنة بنظم خنادق الري المفتوحة تحت السطحية التقليدية بسبب معدلات الجريان السطحي المنخفضة، أما دراسة سماجسترلا وآخرين Smajstrla *et al.* (1995) فقد أوردت أن إنتاجية محاصيل البطاطس كانت متجانسة إحصائياً ولكن مع استخدام ٣٣٪ أقل من الماء للتحكم في مستوى الماء الأرضي مع نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) بالمقارنة بنظام خنادق الري المفتوحة تحت السطحية التقليدية.

(١٧,١٤) الري الدقيق في المشاتل والبيوت المحمية

الكثير من نباتات البيوت المحمية والمشاتل يمكن ريها بشكل اقتصادي وفعال بالعديد من طرق الري التقليدية، كالري بالتنقيط، والرشاشات الصغيرة، والمبخرات (باعثات البخار)، أو رشاشات الضغط أو غيرها من الرشاشات الدوّارة، ونظم انحسار التدفق، والمرشّات ذات الأذرع المتحركة، وأنظمة الري اليدوي. فأما أنظمة انحسار التدفق فيتم استخدامها مع الشتلات الموضوعة في أصص (شوالي) في حوض غير منفذ يتم غمره بالماء ثم تفريغه بشكل دوري، ويتم استخدام الماء الزائد في ري الحوض التالي، ومن ثم يتم استخدام الماء بدون هدر. أما أنظمة المرشّات ذات الأذرع المتحركة فتقوم بإضافة الماء بواسطة فوهات رشّ على خطوط أنابيب فرعية تتحرك على قضبان معلقة أعلى النباتات. ويتم ضبط سرعة التحرك بحيث تقوم بإضافة القدر المطلوب من الماء. وهذا النظام قابل للتطبيق بشكل أساسي مع خطوط إنتاج البيوت

المحمية، وهو أكثر كفاءة مع الحاويات ذات المسافات الفاصلة المتقاربة، بحيث يتم التقليل من فاقد الماء بين الحاويات إلى الحدّ الأدنى. أما الري اليدوي، والذي له تكاليف صيانة منخفضة، فيمكن له أن يكون بديلاً اقتصادياً لنظم الري الدقيق في بعض خطوط الإنتاج، وفي بعض المناطق حيث تكون تكلفة العمالة منخفضة.

ونظام الري الدقيق يقدم عدداً من المزايا لكثير من خطوط إنتاج المشاتل والبيوت المحمية، لاسيما خفض متطلبات ماء الري والعناصر المغذية إلى جانب خفض تكاليف العمالة (Ross, *et al.*, 1990 ، Ross, 1994). وعلى كل الأحوال، فإن نظم الري الدقيق غالباً ما تكون لها تكلفة أولية أكثر ارتفاعاً من طرق الري التقليدية، لاسيما عند ري الشتلات الصغيرة ذات المسافات الفاصلة المتقاربة، بسبب ما تحتاجه من متطلبات مثل الشبكة الكثيفة من خطوط الأنابيب والأعداد الكبيرة من المنقطات. وهذه التكلفة الأولية المرتفعة يمكن في الغالب موازنتها من خلال التوفير في تكاليف التشغيل (مثل تكاليف العمالة، وماء الري، والأسمدة، ... إلخ). ويمكن لفترة عمر منقطات نظام الري ان تتراوح ما بين ٤ و٥ أعوام في ظل الصيانة الملائمة. فمع استبعاد التلف نتيجة للحوادث، عندئذ يمكن لنظام توزيع الماء أن يدوم لفترة تتراوح ما بين ١٠ و١٥ سنة.

وغالباً ما يعتبر نظام الري الدقيق هو الأكثر فعالية في التكلفة والأكثر ملاءمة للتطبيق مع الشتلات الكبيرة أو ذات المسافات الفاصلة الواسعة، مما يقلل إلى الحد الأدنى من عدد خطوط الأنابيب الفرعية المطلوبة والمنقطات المطلوبة، ومن ثم يخفض من تكلفة النظام. وبشكل منتظم يتم استخدام أنظمة الري بالتنقيط مع الشتلات عالية القيمة المزروعة في حاويات صغيرة بقطر يبلغ حتى ١٥سم. أما طريقة الري بالرشاشات المعلقة فوق المحصول فلا يمكن استخدامها مع بعض نظم خطوط إنتاج نباتات الزينة، بسبب مشكلات إصابة النبات بالأمراض، والناتجة عن التبليل المتواتر لأوراق النباتات، أو لأن جودة الماء من تلك النوعية التي قد يتضرر النبات منها من خلال التبليل المباشر للأوراق، أو الثمار، أو الجذوع.

وهناك إمكانية للاستخدام المكثف لنظام الري بالتنقيط مع معظم المحاصيل المزروعة في حاويات، والتي تتراوح ما بين الشتلات التي في حاويات (شوالي) كبيرة (حجم أكبر من ٤ لتر) وصولاً إلى حاويات أقل من واحد لتر، اعتماداً على كل من كثافة النبات (أي المسافة ما بين الأصيص والأصيص)، والقيمة الاقتصادية للمحصول. أما أنظمة الرشاشات الصغيرة فغالباً ما يتم تفضيلها مع تطبيقات إضافة الماء أسفل ظلة النبات مع محاصيل مثل أشجار الزينة الكبيرة، والشجيرات المزروعة في أحواض زرع كبيرة (مثل النباتات المتكورة المتشابكة). أما الأسمدة القابلة للذوبان في الماء فيمكن بشكل فعال تطبيقها من خلال أنظمة التنقيط بشكل مباشر إلى النبات، ويمكن جدولة نوبات الري حسب الضرورة بدون التداخل مع عمليات المشتل الأخرى. أما المواد الكيماوية الموزعة على أوراق النباتات بواسطة الرشاشات الدقيقة، فتميل لأن تكون أكثر فعالية من تطبيقات الرشاشات العادية؛ لأن تطبيق الماء المنخفض تقلل إلى حدّ كبير من عملية كسح المواد عن الاوراق بواسطة ماء الغسل.

أما شتلات الأحواض والكثير من النباتات الزهرية الاصغر حجما والمحتواة في أصص (شوالي) والتي يتم زرعها في صحاف (صواني) فيتم ريها بشكل نمطي بالرشاشات (ذات الأذرع الثابتة أو المتحركة) أو يتم ريها يدوياً. وتكون الحاويات بشكل نمطي أصغر من ٢ لتر وذات مسافات فاصلة متقاربة. ولا يتم استخدام نظم الري الدقيق مع شتلات الأحواض التي تتم زراعتها في مسطحات أو صحاف (صواني). أما النباتات الخضراء (ذات الأوراق) المحتواة في أصص (شوالي) فغالباً ما يتم تبليلها يدويا أو ريها بواسطة نظم المرشّات ذات الأذرع المتحركة.

ومعظم المشاتل الحقلية لأشجار الزينة الغابية، تستخدم الري بالتنقيط، في حين أن بعضها يستخدم نظم الري بالرشاشات أو بالرشاشات الدقيقة. أما النباتات الغابية المزروعة في الحاويات فغالباً ما يتم ريها بالرشاشات، على الرغم من أن نظم الري الدقيق يشيع استخدامها مع النباتات المزروعة في حاويات أكبر من ٤ لتر.

ونظم الري بالتنقيط ليست قابلة للتكيف بشكل مباشر مع شتلات نبات سرخس الزينة الحزين، أو ما يماثله من محاصيل لها نمو جذري جانبي متواصل، وظلل نبات تغطي كامل سطح التربة. وفي مثل هذه الحالات، يميل أداء كل من نظم الري بالتنقيط والري بالرشاشات الصغيرة لأن يكون رديئاً؛ لأنها أكثر قابلية للتكيف مع الحيز الجذري الجزئي أو مع إضافات الماء المركزة أكثر من قابليتها للتكيف مع أنماط التبليل الضحلة المتماثلة اللازمة لهذه المحاصيل. أما الحركة الجانبية للماء من نظم الري بالتنقيط فتكون محدودة بالخصائص الهيدروليكية لوسيط الزراعة في الأصص، بسبب ارتفاع مساميته وارتفاع قدرته على الصرف.

أما المحاصيل ذات أنظمة الجذور ذات النمو الجانبي الضحل فيتم ريها بفاعلية إما بواسطة نظم الرشاشات، أو الري السطحي أو الري تحت السطحي، والتي تعمل جميعها على توزيع الماء بشكل منتظم عبر السطح بكامله عوضاً عن مجرد التغطية الجزئية للحيز الجذري كما في حالة الري الدقيق. وعلى سبيل المثال، تتم زراعة الطبقة العليا من التربة باستخدام أساليب الري التي تشجع النمو الضحل للجذور، باستخدام توزيعات صغيرة متواترة بواسطة الرشاشات أو بواسطة المحافظة بشكل اصطناعي على مستوى الماء الأرضي مرتفعاً. كما أن أسلوب الري سوف يؤثر كذلك في مدى الفعالية التي يتم بها حصاد محاصيل معينة وإعادة غرسها بواسطة الطرق المختلفة والمعدات المتاحة.

وبعض المحاصيل، مثل سرخس الزينة، قد تستخدم الري بالرشاشات المعلقة فوق المحصول لأن ذلك قد يكون ضرورياً للوقاية من التجمد. وفي مثل هذه الحالات، يتم كذلك استخدام الرشاشات أيضاً في الري، وعلى كل الأحوال، فإن كفاءة استخدام الماء تكون رديئة.

كما أن نظم الري الدقيق في المشاتل والبيوت المحمية تستلزم أيضاً أنظمة ترشيح خاصة، وأنظمة خاصة للمعالجة الكيميائية للماء وذلك للحد من انسداد المنقطات، على شاكلة تلك المطلوبة مع المحاصيل الحقلية. كذلك فإن الممرات فيما بين أحواض النباتات قد

تصير جافة عند استخدام نظم الري الدقيق ، وقدّ تظهر مشكلات تتعلق بالجودة، بسبب تطاير الرمل أو التراب، مما قد يتطلب إنفاقاً إضافياً على أنظمة الرشاشات أو على التبليل اليدوي الدوري لمكافحة الأتربة. وعلى كل الأحوال، فإن الممر الجاف قد يكون مرغوباً للتقليل من تعرض النبات للأمراض، والحشرات والحشائش المائية، ولتيسير حركة انتقال الأفراد. وهذه التكاليف الأعلى يمكن في العادة تبريرها اقتصادياً بالقيمة النقدية العالية للكثير من (وليس كل) تطبيقات نباتات الزينة والتجميل.

أما أنظمة تجميع المياه لإعادة تدوير مياه الجريان السطحي والمتسربة من الأصص (الشوالي) والحاويات، فيشيع استخدامها مع كافة أساليب ري المشاتل والبيوت المحمية. وبعض أنظمة إعادة استخدام المياه تستخدم أسطحاً غير منفذة للماء في البيوت المحمية والمشاتل لتمرير وتجميع مياه الجريان السطحي والصرف إلى خزان تجميع. وهذه الطريقة عالية النفع وصديقة للبيئة، لأن كلا من الماء الزائد والعناصر المغذية الزائدة يعاد استخدامهما في نوبات ري لاحقة. وعلى كل الأحوال، فإن احتمالية ازدياد إصابة النبات للأمراض وتحسن تكاثر الحشرات هي احتمالية قائمة دوماً مع أنظمة تجميع وإعادة استخدام الماء. وقد يتطلب الأمر اللجوء إلى تدابير الصحة العامة وتدابير المعالجة الكيماوية الاستثنائية المحتملة، وذلك للحد من انتشار أمراض النبات وغيرها من الآفات الناشئة عن الماء المعاد تدويره.

المراجع

Anyoji, H., and 1. P Wu. 1987 Statistical approach for drip lateral design. Trans. ASAE 30(1): 187-192.

ASAE. 2005a. S-376.1: Design, installation and performance of underground, thermoplastic irrigation pipelines. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005b. EP-405.1: Design and installation of microirrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005c. EP-435: Polyethylene pipe used for microirrigation laterals. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005d. EP-458: Field evaluation of micro irrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Ayars, J. E., C. J. Phene, R. A. Schoneman, B. Meso, F Dale, and J. Penland. 1995. Impact of bed location on the operation of subsurface drip irrigation systems. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 141-146. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Bar-Yosef, G., B. Sagiv, and T. Markovitch. 1989. Sweet com response to surface and subsurface trickle phosphorous fertigation. Agron. J. 81: 443-447.

Barth, H. K. 1995. Resource conservation and preservation through a new subsurface irrigation system. In *Proc. 5th Int'[Microirrigation Congress,* 168-174. S1. Joseph, Mich.: ASAE.

Bisconer, 1. 1987. Subsurface microirrigation of potatoes in Colorado. ASAE Paper No. 87-2033. S1. Joseph, Mich.: ASAE.

Bogle, C. R. T. K. Hartz, and C. Nufiez. 1989. Comparison of subsurface trickle and furrow irrigation on platic-mulched and bare-soil for tomato production. JAm. Soc. Hort. Sci. 114(1): 40-43.

Boman, B. J., and L. R. Parsons. 1998. Microsprinkler selections considerations for humid-region tree crops. ASAE Paper No. 98-2044. S1. Joseph, Mich.: ASAE.

Bralts, V F., and L. 1. Sergerlind. 1985. Finite elements analysis of drip irrigation submain unit. Trans. ASAE 28(3): 809-814.

Bralts, V. F., 1. P Wu, and H. M. Gitlin. 1981. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. Trans. ASAE 24: 113-119.

Bralts V. F., D. M. Edwards, and 1. P Wu. 1987a. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. Adv. Irrig. 4: 67-117.

Bralts V. F., 1. P. Wu, and H. M. Gitlin. 1987b. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. Trans. ASAE 24(5): 1234-1240.

Bucks, D. A., L. 1. Erie, O. F French, F S. Nakayama, and W. D. Pew. 1981. Subsurface trickle irrigation managment with multiple cropping. Trans. ASAE. 24: 1482-89.

Bucks, D. A. 1995. Historical developments in microirrigation. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 1-5. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Bucks, D. A., F. S. Nakayama, and R. G. Gilbert. 1979. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. Agric. Water Mgmt. 2: 149-62.

Bui, W. 1990. Performance of "turbo model" drip irrigation tubes. In Proc. Third Nat 'I. Irrigation Symp., 198-203. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Bui, W., and R. V Osgood, 1990. Subsurface irrigation trial for alfalfa in Hawaii. In Proc. Third Nat l. Irrigation Symp., 658-660. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Burt, C. M., K. O'Connor, and T. Ruehr. 1995. Fertigation. San Luis Obispo, Calif.: Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State Univ.

Burt, C. M., and S. W Styles. 1994. Drip and Microirrigation for Trees, Vines and Row Crops. San Luis Obispo, Calif.: Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State Univ.

Camp, C. R. 1998. Subsurface drip irrigation: A review. Trans. ASAE 41(5): 1353-1367.

Camp, C. R., W 1. Bussher, and E.J. Sadler. 1987. Wetting patterns for line-source trickle emitters. ASAE Paper No. 87-2524. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Camp, C. R., E. J. Sadler, and W. J. Busscher. 1997. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. Trans. ASAE. 40(4): 993-999.

Chalmers, D. J., P D. Mitchell, and L. van Reek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. J. American Soc. Hort. Sci. 106: 307-312.

Clark, G. A. 1992. Drip irrigation management and scheduling for vegetable production. HortTech. Jan./Mar. 2(1).

Clothier, B. E., D. R. Scotter, and E. R. Harper. 1985. Three dimensional infiltration and trickle irrigation. Trans. ASAE 28(2) :497-501.

Constable, G. A., and A. S. Hodson. 1990. A compariosn of drip and furrow irrigated cotton on a cracking clay soil: Yield and quality offour cultivars. *Irrig. Sci.* 11: 149-53.

Davis, K. R., C. J. Phene, R. L. McCormack, R. B. Hutmacher, and D. W Meeks. 1985. Trickle frequency and installation depth effects on tomatoes. In Proc. of the Third Int'l Drip/Trickle Irrigation Congress, 896-902. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Doorenbos, 1., and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.

Drake, S. R., and R. G. Evans. 1997. Irrigation management influence on fruit quality and storage life of 'Redspur' and 'Golden Delicious' apples. Fruit Varieties J. 51: 7-12.

Ebel, R. C., E. L. Proebsting, and R. G. Evans. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. HortSci. 30(6): 1229-1232.

Evans, R. G. 1994. Chapt. 16: Designing multipurpose water application systems. In Proc. 1994 Pacific Northwest Fruit School: Tree Fruit Irrigation, 171-192. Yakima, Wash.: The Good Fruit Grower.

Evans, R. G., T. W. Ley, M. W. Kroeger, and M. O. Mahan. 1988. Evaluation of micro sprinklers for undertree frost protection. Paper 2C-3. In Proc. 4th Int'!. Micro-Irrigation Congo Albury- Wodonga.

Evans, R. G., S. E. Spayd, R. L. Wample, and M. W Kroeger. 1990. Water requirements and irrigation management of Vitis vinifera grapes. In Proc. Third Nat'/. Irrigation Symp., 154-161. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Evans, R. G., S. E. Spayd, R. L. Wample, M. W Kroeger, and M. O. Mahan. 1993. Water use of Vitus vinifera grapes in Washington. Agric. Water Mgmt. 23(1993): 109-124.

Feng, J., and L P. Wu. 1990. A simple computerized drip irrigation design. In Proc. Third Nat'l. Irrigation Symp., 348-353. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Gilad, Y., D. Peleg, and G. Tirosh. 1968. Irrigation equipment tests. Report No. 81268. Israel: ICWA.

Grattan, S. R., L. J. Schwankl, and W T. Lanini. 1988. Weed control by subsurface drip irrigation. Calif. Agric. 42(3): 22-24.

Grimes, D. W., D. S. Munk, and D. A. Goldhamer. 1990. Drip irrigation emitter depth placement is a slowly permeable soil. In Proc. Third Nat'l. Irrigation Symp., 248¬254. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Hanson, B. R. 1993. Salinity under drip irrigation of row crops. In Proc. 1993 irrigation Association Exposition and Technical Conference, 196-202.

Hanson, B. R., L. Schwankl, S. R. Graham, and T. Pritchard. 1994. Drip irrigation of row crops. Water Management Series Publication No. 93-05. Davis, Calif.: Univ.California-Davis, Cooperative Extension.

Hills, D. 1., F M. Nawar, and P M. Waller. 1989. Effects of chemical clogging on drip tape irrigation uniformity. Trans. ASAE 32(4): 1202-1206.

Howell, T. A., and E. A. Hiler. 1974. Trickle irrigation lateral design. Trans. ASAE 17: 902-908.

Hutmacher, R. B., C. 1. Phene, K. R. Davis, S. S. Vail, T. A. Kerby, M. Peters, C. A. Hawk, M. Keeley, D. A. Clark, D. Ballard, and N. Hudson. 1995. Evapotranspira¬tion, fertility management for subsurface drip Acala and Pima cotton. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 147-154. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Jensen, M. E., R. D. Burman, and R. G. Allen. 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.* ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 70. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Jorgenson, G. S., and K. N. Norum, eds. 1992. Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practices and Application. CATI Publication No. 92-1001. Fresno, Calif.: CSRF.

Karmeli, D., L. J. Salazar, and W R. Walker. 1978. Assessing the Spatial Variability of Irrigation Water Application. Environmental Protection

Technology Series. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
Keller, J., and D. Karmeli. 1974. Trickle irrigation design parameters. Trans. ASAE 17(4): 678-684.
Kopec, A. R., M. N. Langley, and M. G. Bos. 1984. Major variables which influence effective precipitation. Int. Comm. Irrig. Drain. Bull. 33(2): 65-70, 84.
Lamm, FR., J. E. Ayers, and F- S. Nakayama, eds. 2006. Microirrigation for Crop Production. Elsevier. 642 pp.
Lamm. FR., and C. R. Camp. 2007. Subsurface drip irrigation. Chapter 13 in Microirrigation for Crop Production, 473-551. F R. Lamm, J. E. Ayars, and F. S. Nakayama, eds. New York, N.Y.: Elsiever.
Lamm, F. R., G. A. Clark, M. Yitayew, R. A. Schoneman, R. M. Mead, and A. D. Schnieder. 1995. Installation issures for SDI systems. In Proc. of 1995 Annual Irrigation Association Exposition and Technical Conference. St. Joseph, Mich.: ASAE.
Leib, B. G., H. W Caspari, C. A. Redulla, P K. Andrews, and J. D. Jabro. 2006. Partial root zone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. Irrig. Sci. 24(2): 85-99.
Meshkat, M., and R. C. Warner. 1985. A user friendly interactive trickle irrigation design model. In Proc. of the Third Int'l Drip/Trickle Irrigation Congress, I: 439¬451. S1, Joseph, Mich.; ASAE.
Middleton, J. E., E. L. Proebsting, and S. Roberts. 1981. A comparison of trickle and sprinkler irrigation for apple orchards. Wash. Agric. Exp. Sta. Bulletin 0895.
Mitchell, P. D., P. H. Jerie, and D. J. Chalmers. 1984. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. J. American Soc. Hort. Sci. 109(5): 604-606.
Moore, R., and J. Fitoschen. 1990. The drip irrigation revolution in the Hawaiian sugarcane industry. In Proc. Third Nat'l. Irrigation Symp., 223-227. S1, Joseph, Mich.: ASAE.
Moser, E. 1979. Technically-oriented research on drip irrigation equipment for special crops. Int. Soc. Hort. Sci. (ISHS) 79: 37-45.
Nakayama, F- S., B. J. Boman, and D. J. Pitts. 2007. Maintenance. Chapter 11 in Micro irrigation for Crop Production, 389-430. F. R. Lamm, J. E. Ayars, and F. S. Nakayama, eds. New York, N.Y.: Elsiever.
Nakayama, F. S., and D. A. Bucks. 1991. Water quality in irrigation: A Review. Jrrig. Sci. 12: 187-92.
Nakayama, F S., and D. A. Bucks, eds. 1986. Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management. New York, N.Y.: Elsevier and S1, Joseph, Mich.: ASAE.
Or, D., and F E. Coelho. 1996. Soil water dynamics under drip irrigation: Transient flow and uptake models. Trans. ASAE 39(6): 2017-2025.

Oron, G., Y DeMalach, and Z. Hoffman. 1989. Subsurface trickle irrigation of alfalfa with treated wastewater. Progress Report. Israel: Ben Gurion Univ., Institute of Desert Research.

Parchomchuk, P 1976. Temperature effects on emitter discharge rates. Trans. ASAE 19(4): 690-692.

Peng, G. F., I. P Wu, and C. J. Phene. 1986. Temperature effects on drip line hydraulics. *Trans. ASAE* 29(1): 211-215.

Peretz, 1., R. G. Evans, and E. L. Proebsting. 1984. Leaf water potentials for management of high frequency irrigation of apples. *Trans. ASAE.* 27(2): 437-442.

Phene, C. 1. 1995. The sustainability and potential of subsurface drip irrigation. In *Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress,* 359-367 S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Phene, C. 1., K. R. Davis, R. B. Hutmacher, and R. L. McConnick. 1987a. Advantages of subsurface drip irrigation for processing tomatoes. *Acta Horticulturae* 200: 101-113.

Phene, C. J., K. R. Davis, and R. L. McCormick. 1987b. Evapotranspiration and irrigation scheduling of drip irrigated cantaloupes. ASAE Paper No. 87-2526. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Phene, C. 1., R. B. Hutmacher, and J. E. Ayars. 1992. Subsurface drip irrigation: Realizing the full potential. In *Proc. of Conference on Subsurface Drip Irrigation,* 137-158. CATI Publication 921001. Fresno, Calif.: California State Univ.

Philip, 1. R. 1991. Effects of root and subirrigatin depth on evaporation and percolation losses. *J. American Soil Sci. Soc.* 55(6): 1520-1523.

Pitts, D. J., F S. Zajueta, and A. G. Smajstrla. 1986. *Micro Irrigation System Submain Design Evaluation.* Florida Cooperative Extension Service, Univ. Florida.

Pitts, D. 1., K. Petersen, G. Gilbert, and R. Fastenau. 1996. Field assessment of irrigation system performance. *Appl. Eng. in Agric.* 12(3): 307-313.

Plaut, S., M. Rom, and A. Meiri. 1985. Cotton response to subsurface trickle irrigation. In *Proc. of the Third Int'l Drip/Trickle Irrigation Congress,* 916-20. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Proebsting, E. L., J. E. Middleton, and S. Roberts. 1977 Altered fruiting and growth characteristics of 'Delicious' apples associated with irrigation method. *HortSci. 12:* 349-350.

Rawlins, S. L. 1977. Uniform irrigation with a low head bubbler system. *Agric. Water Mgmt.* 1: 166-178.

Rodriguez-Sinobas, L., L Juana, and A, Losada. 1999. Effects of temperature changes on emitter discharge. *J. Irrig. Drain. Eng.* 125(2): 64-73.

Ross, D. S. 1994. Reducing water use under nursery and landscape conditions. In *Recycling and Resource Conservation, A Reference Guide for*

Nursery and Landscape Industries. C. W Heuser, Jr., and P. E. Heuser, eds. Harrisberg, Pa.: Pennsylvannia Nurserymens Assoc., Inc.

Ross, D. S., R. A. Parsons, and H. E. Carpenter. 1990. Trickle irrigation in the eastern United States. Publication NRAES-4. Ithaca, N.Y.: Northwest Regional Agricultural Engineering Service, Cornell Univ.

Rubiez,1. G., N. F Oebker, and 1. L. Stroehlein. 1989. Subsurface drip irrigation and urea phosphate fertigation for begetables on calcareous soils. *J. Plant Nutrition* 12(12): 1457-1465.

Sadler, E. 1., C. R. Camp, and W. 1. Busscher. 1995 Emitter flow rate changes caused by excavating subsurface micro irrigation tubing. In *Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress,* 763-768. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Sammis, T. W- 1980. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. *Agron. J.* 72: 701-04.

Sammis, T. W., and 1. P Wu. 1985. Effect of drip irrigation design and management on crop yield. *Trans. ASAE* 28(3): 832-838

Scherm, H., and A. H. C. van Bruggen. 1995. Comparative study of microclimate and downy mildew development in subsurface drip- and furrow-Irrigated lettuce fields in California. Plant Disease 79(6): 620-25.

Schwankl, L., B. Hanson, and T. Pritchard. 1995. Micro-irrigation of Trees and Vines: A Handbookfor Water Managers. Water Managment Series Publication No. 94-01. Davis, Calif.: Univ. California-Davis, Cooperative Extension.

Seginer, I. 1978. A note on the economic significance of uniform water application. Irrig. Sci. 1: 19-25.

Shani, D., X. Xue, R. Gordin-Katz, and A. W. Warrick. 1996. Soil-limiting flow from subsurface emitters. I: Pressure measurements. J. Irrig. Drain. Eng. 122(5): 291-295.

Smajstrla, A. G., B. J. Boman, D. Z. Haman, D. J. Pitts, and F S. Zazueta. 1997. Field evaluation of microirrigation water application uniformity. Bulletin 265. Gainesville, Fla.: Florida Cooperative Extension Service, Univ. Florida.

Smajstrla, A. G., and S. 1. Locascio. 1996. Tensiometer controlled, drip irrigation scheduling of tomatoes. Appl. Eng. Agric. 12(3): 315-319.

Smajstrla, A. G., S. J. Locascio, and D. R. Hensel. 1995. Subsurface drip irrigation of potatoes. Proc. Fla. State Hort. Soc. 108 :193-195.

Soloman, K. H. 1979. Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems. Trans. ASAE 22: 1034-1038, 1043.

Solomon, K. H. 1984. Global uniformity of trickle irrigation systems. ASAE Paper No. 84-2103. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Solomon, K. H. 1992. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practices and

Application, 17-39. CATI Publication No. 92 1001. Fresno, Calif.: California State Univ.
Stanley, C. D., and G. A. Clark. 1991. Water table management using microirrigation tubing. Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 50: 6-8.
Sterret, S. B., B. B. Ross, and C. P Savage. 1990. Establishment and yield of asparagus as influenced by planting and irrigation method. J. American Soc. Hort. Sci. 115(1): 29-33.
Thorton, 1. R., and D. Behoteguy. 1980. Operation and Installation of a bubbler system. ASAE Paper No 80-2059. S1, Joseph, Mich.: ASAE.
Tollefson, S. 1988. Commercial production of field and vegetable crops with subsurface drip irrigation. In 1988 Technical Conference Proceedings, 144-153. Falls Church, Va.: Irrigation Association.
Wample, R. L. 1996. Issues in vineyard irrigation. Wine East 24(2): 8-21.
Wample, R. L. 1997 Important issues in vineyard irrigation. Good Fruit Grower 48(14): 15-22,39.
Warrick, A. W., and D. O. Lomen. 1983. Linearized moisture flow with root extraction over two-dimensional zones. J. Soil Sci. Soc. America 44(5): 869-872.
Warrick, A. W., and D. Shani. 1996. Soil-limiting flow from subsurface emitters. II: Effect on uniformity. J. Irrig. Drain. Eng. 122(5): 296-300.
Wu, I. P. 1988. Linearized water application function for drip irrigation schedules. Trans. ASAE 31(6): 1743-1749.
Wu, I. P. 1992a. Energy gradient line approach for direct hydraulic calculation in drip irrigation design. Irrig. Sci. 13: 21-29.
Wu, 1. P 1992b. A simple graphic solution for drip lateral design. Paper No. 9209103. In Proc. Int'l Conference on Agricultural Engineering.
Wu, I. P. 1993a. Microirrigation design for trees. ASAE Paper No. 93-2128. S1, Joseph, Mich.: ASAE.
Wu, I. P 1993b. Design considerations of drip irrigation systems. In Transactions, R53, Q44,15th Congress on Irrigation and Drainage, 693-711. The Hague, The Netherlands: ICID.
Wu, I. P 1995. A simple optimal microirrigation scheduling, In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 781-786. S1, Joseph, Mich.: ASAE.
Wu, I. P., J. S. Feng, and K. Y Yabusaki. 1989. Emitter spacing and uniformity of irrigation application. ASAE Paper No. 89-2080. St. Joseph, Mich.: ASAE.
Wu,1. P., and H. M. Gitlin. 1974. Drip irrigation design based on uniformity. Trans. ASAE 17: 429-432.
Wu, I. P., and H. M. Gitlin. 1975. Energy gradient line for drip irrigation laterals. J. Irrig. Drain. Eng. 10I(IR4): 323-326.
Wu, I. P., T. A. Howell, and E. A. Hiler. 1979. Hydraulic design of drip irrigation systems. Technical Bulletin No. 105. Manoa, Hawaii: Hawaii Agricultural Experiment Station, Univ. Hawaii.

Wu, 1. P., and 1. M. Irudayaraj. 1987 Evaluation of uniformity parameters for drip irrigation design. ASAE Paper No. 87-2522. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., and 1. M. Irudayaraj. 1992. Hydraulic variation of a drip irrigation sub main unit. ASAE Paper No. 92-2056. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., 1. M. Irudayaraj, and J. S. Feng. 1988a. Plugging evaluation for a drip irrigation submain unit. A8AE Paper No. 88-2062.81. Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., 1. M Irudayaraj, and 1. S. Feng. 1988b. Grouping effect on the uniformity of drip irrigation. Paper No. 10-4. In Congress Proc. Fourth Int'l Microirrigation Congress, VI.

Wu, I. P., G. Y Lin, and L. S. Lau. 1991. Plugging evaluation in the reuse of sewage effluent by drip irrigation. In Proc. 1991 Nat'l. Con! ASCE, 780-786. Reston, Va.: ASCE.

Wu, I. P., and C. 1. Phene. 1984. Temperature effect on drip emitters and lateral line. ASAE Paper No. 84-2628. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., K. Y. Yabusaki, and J. M. Irudayaraj. 1985. Computer simulation of total emitter flow variation: Drip/trickle irrigation in action. Proc. Third Int'l Drip/ Trickle Irrigation Congress 2: 873-886.

Wu, I. P., and R. Yue. 1993. Drip lateral design using energy gradient line approach. Trans. ASAE 36(2): 389-394.

Wuertz, H. 1992. Subsurface drip irrigation on Sundance Farms Ltd. In Proc. of Conference on Subsurface Drip Irrigation, 73-83. CATI Publication 921001. Fresno, Calif.: California State Univ.

Yitayew, M., K. Didan, and C. Reynolds. 1999. Microcomputer based low-head gravity-flow bubbler irrigation system design. Computers and Electronics in Agric. 22: 29-39.

Yitayew, M., C. A. Reynolds, and A. E. Sheta. 1995. Bubbler irrigation system design and management. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 402-413. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Zur, B., and S. Tal. 1981. Emitter discharge sensitivity to pressure and temperature. J. Irrig. Drain. Eng. 107(IR1): 1-9.

الفصل الثامن عشر

نظم التحكم في منسوب الماء الأرضي

جايمس ل. فوس (USDA-ARS، باتون روج، لويزيانا)
روبرت أ. إيفانز (جامعة ولاية كالورينا الشمالية رالي، كالورينا الشمالية)
جايمس إ. أيارز (USDA-ARS، كاليفورنيا)
إيفان ص. كريستن (منظمة الكومنولث للأبحاث الصناعية والزراعية (CSIRO)
للأراضي والمياه، جريفيث، نيو ساوث ويلز، أستراليا)

ملخص: يتم تصميم وتركيب نظم إدارة المياه الزراعية للعمل على (١) تحسين إنتاج المحصول عن طريق التحكم في الفترات التي تكون فيها ظروف المياه زائدة أو بها نقص في منطقة الجذور، (٢) تحسين جودة مياه تصرف الصرف عن طريق التحكم في تدفقات الصرف لتقليل الفواقد الزراعية من أراضي المزرعة. والتحكم في تصرف الصرف تحت السطحي للحفاظ على منسوب الماء الأرضي أكثر ضحالة وتحديد تدفقات الصرف للخارج التي تم توضيحها لتقليل الفواقد السنوية في النيترات من أرض المحصول بقدر الإمكان بما يساوي ٥٠٪. إن تطوير نظام تحكم متكامل في منسوب الماء الأرضي يشمل تحديد ما إذا كان الموقع مناسباً، وعمق الصرف والمسافة بين المصارف، وإعداد خطة تركيب حقلية، والدمج بين مكونات تشغيل النظام في الصرف المتحكم به وأنماط الري التحتي. ولابد أن يسمح تصميم النظام بالتحكم في عمق

منسوب الماء الأرضي في قطاع التربة عبر مدى لازم لممارسات العمليات الزراعية حتى يتم اتباعها ولنمو المحاصيل، والمتطلبات التشغيلية لتقليل الفواقد الزراعية. ولابد أن تتضمن هذه الأهداف أيضاً الاستخدام الفعال للمياه الجوفية الضحلة التي يتم إمدادها من خلال تساقط الأمطار أو الري.

هناك عديد من الطرق المتاحة لتحديد عمق الصرف والمسافات بين المصارف المثلى للتصميم بالنسبة لإدارة منسوب الماء الأرضي. فالنمط التشغيلي للنظام، أي ما إذا كان هذا في الصرف تحت السطحي المألوف، أو الصرف المتحكم به، أو نمط الري التحتي، يمكن أن يختلف من يوم لآخر، ومن شهر لآخر، ومن عام لأخر. وفي معظم المواقع، ليس من الواضح ما إذا كانت أكبر احتياجات في تصميم النظام هي توفير إدارة صرف جيدة تحت ظروف منسوب الماء الأرضي الضحل، أو لتوفير ري تحت سطحي كاف أثناء الفترات الأكثر جفافاً. وبسبب تعقيد عوامل التصميم، لابد من استخدام منهج محاكاة النماذج لإجراء تحليل كامل ووضع تصميم نهائي لإدارة مياه الصرف أو نظام التحكم في منسوب الماء الأرضي، وللتنبؤ بأداء النظام عبر فترة من ٢٠ إلى ٣٠ عاماً بالنسبة للأجواء المناخية في موقع محدد.

إن نماذج المحاكاة باستخدام الحاسب الآلي مثل DRAINMOD يمكن استخدامها لتقييم خيارات تصميم النظام المتنوعة بالنسبة لموقع بعينه. ويمكن أن يعمل نموذج محاكاة طويل المدى (٢٠ إلى ٣٠ عاماً) على توفير تقييم جيد للأداء المتوقع للنظام. ويشمل نموذج المحاكاة DRAINMOD-NII روتيناً للقيام على نحو شامل بتقييم تأثير تصميم النظام والمعاملات التشغيلية على نقل أشكال متعددة من النيتروجين داخل قطاع التربة وفواقد الجريان السطحي والتدفق تحت السطحي، وهذا الإصدار من نموذج المحاكاة DRAINMOD يعد أداة هامة لتصميم نظم إدارة مياه الصرف، إلى جانب خطة تشغيل موسمية، لتلبية متطلبات جودة المياه الناتجة لقنوات تجميع المياه السطحية والمجمعات المائية.

إن تصميم نظام إدارة منسوب الماء الأرضي الأمثل يؤدي إلى تعظيم صافي الفائدة، والعمل على تقليل التأثيرات البيئية، ولابد أن يكون التصميم وإستراتيجية الإدارة هما الأفضل. ومن الممكن أن يكون النظام ملائماً من الناحية التقنية، ولكن لابد أن يكون القرار الأخير قائماً على ملاءمة النظام ليس فقط ليقوم بتغطية تكاليفه وإنما لجلب عائد ربح للمزارع مقابل استثماره، في الوقت الذي يعمل فيه على تقليل التأثيرات البيئية من خارج الموقع، وبالتالي، لابد أن يكون القرار النهائي الموصى به لتصميم ما قائماً على تقييم شامل للآثار الاقتصادية والبيئية.

الكلمات الأساسية: الكيماويات الزراعية، جاف، التحكم في الصرف، إدارة الصرف، نمط الصرف، التأثيرات البيئية، المياه الجوفية، الرطبة، الجريان السطحي، الملوحة، الري التحتي، الصرف تحت السطحي، الصرف السطحي، إدارة المياه، جودة المياه، منسوب الماء الأرضي، التحكم في منسوب الماء الأرضي.

(١٨,١) مقدمة

إن نظم الصرف الزراعية ونظم إدارة المياه المرتبطة بها والتي تعمل على التحكم في عمق منسوب الماء الأرضي كان يتم تركيبها من زمن طويل للعمل على الحد من العوامل المتعلقة بالمياه التي تقلل إنتاج المحصول، أو لتقليل هذه العوامل حتى مستويات مقبولة. وفي السنوات الأخيرة، أظهرت الأبحاث أن إدارة مياه الصرف تعمل على توفير الفرصة للتحكم في فاقد المواد الزراعية (الأسمدة المغذية ومبيدات الآفات) من أرض المحصول، حيث يتم حملها مع الجريان السطحي وتصرف الصرف تحت السطحي. وعلى سبيل المثال، فإن التحكم في تصرف الصرف تحت السطحي للحفاظ على منسوب ماء أرضي أكثر ضحالة، وللتحكم في تدفق الصرف للخارج يمكن أن يعمل على تقليل الفقد السنوي في النيترات بما يساوي ٥٠٪. وبالمثل، أوضحت نظم إدارة الصرف السطحي أنها تعمل على تقليل فقد الفوسفور في الجريان السطحي.

إن الانتباه في الآونة الأخيرة لنظم إدارة الصرف الزراعي[1] للتحكم في منسوب الماء الأرضي نتج من التلوث واسع الانتشار بالمغذيات (النيترات والفوسفور) الذي تسبب في نقص كمية الأكسجين في شمال خليج المكسيك (انظر على سبيل المثال، Rablais *et al.,* 1999). إن المصدر الرئيسي للتلوث ينتج من الأراضي الزراعية التي يتم تصريف مياهها في الوسط الغربي ونقله عبر نهر الميسيسيبي إلى الخليج. وفي ولايات غرب الولايات المتحدة التي يتم ريها، فإن هناك عناصر سامة مثل السيلينيوم يتم نقلها من خلال تدفقات الصرف إلى أماكن الحياة البرية، حيث يمكن أن تتراكم هذه العناصر حيوياً إلى مستويات سامة، وفي النهاية تتسبب في القضاء على كائنات الحياة البرية. ومن هنا، تعد نظم إدارة مياه الصرف بالنظم السطحية وتحت السطحية ضرورية للحد من التأثيرات البيئية على كل من أراضي المحاصيل التي يتم ريها بمياه الأمطار وبمياه الري.

وفي أراضي الغرب التي يتم ريها بمياه الري، فإن أهداف التحكم في منسوب الماء الأرضي هي تحسين جودة مياه الصرف المتصرفة (بدلالة المواد الزراعية والملوحة) وتحسين كفاءة استخدام مياه الري. ويتم تحقيق هذا عن طريق تشجيع استخدام مياه المحصول من منسوب الماء الأرضي وتقليل التدفقات المارة بالجوار إلى المصارف، حيث إن هذه التدفقات لا تساهم في نزح الأملاح والخسارة المباشرة لمياه الري. هناك وظيفة هامة أخرى للتحكم في منسوب الماء الأرضي وهي تحويل نظام الصرف تحت السطحي من طور الاستصلاح، عندما يكون نزح الأملاح من منطقة الجذور عند أعلى مستوياته، إلى طور الصيانة، عندما يكون من الممكن أن تعمل مستويات أقل من الصرف على الحفاظ على ملوحة مناسبة في منطقة الجذور.

---

(١) لقد تم تشكيل قوة مهمة نظم إدارة الصرف الزراعي التكاملية في عام ٢٠٠٢ للترويج لتطبيق إدارة مياه الصرف (الصرف المتحكم به) في ثماني ولايات من الوسط الغربي لتقليل فقد النيترات من أرض المحصول التي يتم تصريفها بنظام الصرف تحت السطحي والتي تسهم في زيادة حمل المادة المغذية بنهر الميسيسيبي ونقص الأكسجين بشمال خليج المكسيك، انظر فوسس وآخرين (2004) Fouss *et al.* وقم بزيارة الموقع: http://extension.osu.edu/usdasdru/ADS/ADMSindex.htm.

لابد أن يسمح تصميم النظام بالتحكم في عمق منسوب الماء الأرضي في قطاع التربة عبر المدى اللازم للعمليات الزراعية التي يجب اتباعها، والمحصول الذي يتم زراعته، والمتطلبات التشغيلية التي تعمل على تقليل الفواقد الزراعية. ويشمل التصميم المتكامل لنظام التحكم في منسوب الماء الأرضي تحديد مدى مناسبة الحقل (بما فيها المخرج الكافي)، وعمق المصارف والمسافات بينها، وقطر أنبوبة المصرف، وتخطيط المصرف وخطة التركيب، ومصدر المياه الكافي (إذا كان يتم استخدام نظام الري التحتي)، والطريقة أو التركيبات اللازمة لتشغيل النظام، وخطة المراقبة والتشغيل. ويعتمد التطبيق المقبول للتحكم في منسوب الماء الأرضي على التكاليف المطلوبة لنظام إدارة المياه بالنسبة للأرباح الاقتصادية والبيئية المتوقعة، مثل هذه الأرباح تختلف من عام لآخر مع كل من الأحوال الجوية والاقتصادية ويصعب قياسها بسبب العلاقات المتداخلة المعقدة لإنتاج المحصول والعمليات البيئية.

وبمعرفة المزيد عن نمو النبات والإنتاجية، وتفاعلات التربة-الآلة (مثل، قابلية انتقال الآلات الزراعية)، وملوحة التربة وعمليات الاستصلاح، والفواقد الزراعية في تدفقات الصرف، سوف يصبح من الممكن محاكاة عمليات إنتاج المحصول بأكملها، ومن بينها اختيار المحصول، والمناوبات، والتسميد. وهذا سوف يسمح بالتصميم الأمثل لنظام الإدارة لمنسوب الماء الأرضي بناءً على احتمال الربح والفوائد البيئية أو التأثيرات البيئية. وبنقص هذه المعرفة في الوقت الحالي، يصبح من اللازم استخدام أهداف أكثر توسطاً أو تقليدية أكثر لنظم إدارة منسوب الماء الأرضي، ومثل هذه الأهداف من الأيسر قياسها وتكوّن بشكل عام الأساس لاختيار النظام والتصميم.

(١٨,٢) إدارة مياه التربة بالتحكم في منسوب الماء الأرضي

(١٨,٢,١) تطبيق نظم التحكم في منسوب الماء الأرضي

من الممكن وصف معايير أداء نظم إدارة منسوب الماء الأرضي بدلالة معاملات فردية عديدة، مثل قابلية انتقال الآلات الزراعية، والتحكم في ظروف مياه التربة

الزائدة والناقصة، والتحكم في الملوحة، وكفاءة الري التحتي، والتأثيرات البيئية خارج الموقع.

١- *معاملات الصرف التقليدية* : معاملات قابلية انتقال الآلات الزراعية في الحقل والتحكم في مياه التربة الزائدة كانت هي المعاملات المعتادة في المناطق التي يتم ريها بمياه الأمطار. والتركيز في الآونة الأخيرة على إدارة مياه الصرف (الصرف المتحكم به) لتقليل الفقد في المواد المغذية (وعلى وجه التحديد النيترات) في تصرف الصرف تحت السطحي قد تسبب في حدوث تحول في معاملات الأداء ليشمل تأثيرات جودة المياه للصرف تحت السطحي. وفي المناطق الجافة، كان التحكم في الملوحة معاملاً أساسياً وتقليدياً، وفي السنوات الأخيرة أصبحت المعاملات التي تتعلق بالتأثيرات البيئية هامة جداً. إن الاختلاف الرئيسي بين المعاملات الحالية والتقليدية هو أن التشغيل في وجود أنماط الصرف المتحكم بها وأنماط الري التحتي من الممكن أن يعقد أو يقلل قابلية النظام لتلبية متطلبات الصرف التقليدية ومازالت تلبي متطلبات حماية جودة المياه في كل من المناطق التي يتم ريها بمياه الأمطار والمناطق الجافة.

٢- *حالة نقص مياه-التربة* : في حين أن البلل هو الاهتمام الأكبر لمعظم مالكي الأراضي، إلا أن حالات الإنتاج في أنواع التربة رديئة الصرف في وجود مناسيب مياه أرضية ضحلة يتم تقليلها بشكل تبادلي في بعض الأحيان عن طريق حالات النقص في مياه-التربة أو حالات الإجهاد الناتجة عن الجفاف. إن وجود حالات المياه الجوفية الضحلة في منطقة الجذور تعمل في الغالب على تعزيز إجهاد النبات الذي تسبب فيه أحوال الزيادة المفرطة لمياه التربة. ولكن، يؤدي الاختلاف الزمني والمكاني لمياه الأمطار في كثير من المناطق الرطبة في حالات كثيرة إلى مياه تربة زائدة، وتقليل نمو المحصول مرتبط بهذا في بداية موسم النمو متبوعاً بنقص في مياه التربة في أواخر موسم النمو. إن إجهاد المياه الزائدة المبكر يعمل على تفاقم ظروف النقص في مياه الأمطار فيما بعد في أواخر الموسم ؛ لأن أعماق الجذور الضحلة التي يتسبب فيها وجود مناسيب المياه

المرتفعة في أوائل موسم النمو يمكن ألا تكون عميقة بدرجة كافية لنقل مياه تربة أكثر عمقاً لازمة للمحصول في أواخر الموسم. وقد أوضحت دراسات المحاكاة التي قام بها ساجز وتبريزي (1983) Skaggs and Tabrizi أن حالات الإجهاد الناتجة عن الجفاف عملت على تقليل إنتاج المحاصيل في أنواع التربة رديئة الصرف بكالورينا الشمالية بمتوسط يساوي ٢٢٪ بالرغم من أن متوسط سقوط المطر السنوي قد تجاوز ١٣٠٠ مم. ومن الممكن أن تزداد حالات الإجهاد الناتجة عن الجفاف من خلال نظم الصرف التي يكون هناك حاجة لها لزراعة هذه الأنواع من التربة التي بها منسوب مياه ضحل (Doty *et al.*, 1984, 1987; Skaggs and Tabrizi, 1983). إن آثار الصرف ونظم إدارة المياه المتعلقة بها على حالات الإجهاد الناتجة عن الجفاف والإنتاج لابد من أخذها في الاعتبار عند تصميم وتشغيل هذه النظم.

٣- *التحكم في الصرف* : تعتمد معايير أداء نمط التحكم في الصرف للتشغيل على ما إذا كانت الإمكانات موجودة كذلك لتوفير نمط الري التحتي. ومن الممكن تحقيق بعض الفوائد البسيطة بدلالة تقليل حالات نقص مياه التربة في بعض أنواع الترب عن طريق الحفاظ على، و"التحكم" في، أن يكون مستوى منسوب الماء الأرضي قريباً من عمق منطقة الجذور لضمان احتجاز مياه الأمطار في قطاع التربة لاستخدام المحصول. وهذا النمط من التحكم في الصرف يمكن أن يؤدي إلى حالات قصيرة المدى من زيادة مياه التربة في منطقة الجذور مباشرة بعد سقوط الأمطار للاستفادة من الإجهاد الناتج عن نقص مياه التربة الأقل فيما بعد. وإذا ظل منسوب الماء الأرضي مرتفعاً على مدى فترات ممتدة من الزمن أثناء الفترة الأولى لنمو المحصول، فإن جذور المحاصيل من الممكن ألا تنمو إلى العمق الكافي لمنع الإجهاد المترتب على هذا الناتج عن الجفاف في أواخر موسم النمو أثناء لفترات الممتدة التي يكون سقوط المطر فيها أقل من المستوى الطبيعي. ومن هنا، فلابد من تطوير خطة تشغيلية تأخذ في اعتبارها كمية سقوط المطر الموسمية والمتكررة لتحقيق الاتزان بين حالات نقص وزيادة مياه التربة عبر موسم النمو.

٤- *الري التحتي*: تشمل معايير الأداء لتشغيل الري التحتي التحكم في كل من حالات نقص وزيادة مياه التربة. وهذا يعني أن النظم التي يتم تصميمها للري تحت السطحي يجب كذلك أن يتم تصميمها لتعمل مع أنماط الصرف المتحكم بها وأنماط الصرف التقليدية لضمان ألا تتسبب حالات سقوط المطر في تقلبات شديدة لعمق منسوب الماء الأرضي في منطقة الجذور. ومن الممكن أن يكون الري التحتي هو معامل أداء التصميم الذي يحكم العملية حيث إن وجود مسافات بين الأنابيب تحت السطحية قريبة تكون في المعتاد مطلوبة لإمداد كمية مياه تحت سطحي كافية إلى قطاع التربة أكثر من المسافات الكبيرة بين الأنابيب المطلوبة لإزالة مياه التربة الزائدة من منطقة الجذور ومن قطاع التربة. وفي المناطق الأكثر رطوبة، فإن الصرف تحت السطحي الذي يلي تساقط الأمطار التي تحدث أثناء الري التحتي يكون هو في الغالب معامل أداء التصميم المتحكم في العملية. وحتى عندما يكون الري التحتي ممكناً اقتصادياً، فلن يكون بوسع كل المزارعين تركيب أنابيب الصرف في مكان قريب بدرجة كافية للتحديث المستقبلي للري تحت السطحي بسبب التكلفة المبدئية الأعلى بالنسبة للنظام المركب. ولابد أن يأخذ تصميم وتشغيل الري التحتي في الاعتبار التوازن بين توقيت وكمية حالات نقص وزيادة مياه التربة المشابهة للصرف المتحكم به.

٥- *التأثيرات البيئية خارج الموقع*: لقد تسببت مياه الصرف المتصرفة من الأراضي الزراعية التي تحتوي على نيترات النيتروجين في حدوث تأثيرات بيئية غير مرغوبة خارج الموقع على القنوات التي تصلها مياه صرف تلك الأراضي الزراعية. حدد رابالز وآخرون (2002) Rabalais *et al.* تصريف النترات في مياه الصرف من الأراضي الزراعية في الوسط الغربي وولايات الوسط الغربي كالمصدر الرئيسي للنيترات التي يحملها نهر الميسيسيبي إلى المنطقة التي فيها نقص في الأكسجين (Rabalis *et al.*, 1999) شمال خليج المكسيك. وبدراسة هذه المشكلات على مقياس واسع لتعزيز وتطبيق الحلول التي تتضمن إدارة مياه الصرف، تم تشكيل مجموعة بحث نظم إدارة الصرف

الزراعي التكاملية في عام ٢٠٠٢ (Fouss *et al.,* 2004). والتحكم في تصرف الصرف تحت السطحي للحفاظ على منسوب ماء أرضي أكثر ضحالة والحد من تدفق الصرف للخارج أوضح أنه يعمل على تقليل الفقد السنوي في النيترات من أرض المحصول بما يساوي ٥٠٪ (Gilliam *et al.,* 1979; Evans *et al.,* 1995; Fausey *et al.,* 2004). وقد استنتجت مجموعة البحث أن ملاءمة ممارسات الإدارة الأفضل، وليس فقط إدارة مياه الصرف، سوف تكون مطلوبة لحل مشكلات جودة المياه عبر حوض نهر الميسيسيبي والخليج (Fouss and Appelboom, 2006).

(١٨,٢,٢) تقييم وملاءمة الموقع

هناك كثير من خواص التربة ومعاملات الموقع التي تؤثر على تصميم نظام إدارة منسوب الماء الأرضي. والخواص الهامة تشمل: معامل التوصيل الهيدروليكي الجانبي، وعمق الطبقة المحصورة، وخصائص التربة-المياه، والتدفق لأعلى والمسامية التي تقبل التصريف كدالة في عمق منسوب الماء الأرضي، وطبقات التربة، والتسرب، وعمق جذور المحصول، والتضاريسية، ومخرج الصرف المناسب. ويعد تصميم النظام أكثر حساسية لبعض المعاملات عن الأخرى، والبعض تكون أكثر صعوبة في القياس في الحقل أكثر من الأخرى، وبعض الخواص تكون متغيرة أكثر من الناحية المكانية عن الأخرى. وليس عملياً بشكل عام أن يتم قياس كل معاملات التربة والموقع الهامة في الحقل في كل موقع محتمل. فالخواص التي يتم بشكل عام ممارستها لقياس كل معاملات التربة والموقع الهامة في الحقل هي معامل التوصيل الهيدروليكي (تأثير الحقل)، وخصائص التربة-المياه، عمق وسمك طبقات التربة الأفقية، وعمق الطبقة المحصورة. ويعد معامل التوصيل الهيدروليكي الجانبي في حالة التشبع واحداً من أكثر العوامل أهمية والذي يؤثر على تصميم النظام (Skaggs, 1980, 1981) ويعد أيضاً واحداً من أكثر الخواص المتغيرة المكانية في الحقل (Tabrizi and Skaggs, 1983; Rogers and Fouss, 1989; and Rogers *et al.,* 1991). وبالتالي، لابد من بذل جهد

لحساب قيم معامل التوصيل الهيدروليكي الفعال الممثل للحقل لكل موقع. ويمكن حساب المسامية المصرفة من بيانات خصائص التربة–المياه، عندما تكون متاحة. ويعد تصميم النظام حساساً كذلك للتدفق لأعلى كدالة في عمق منسوب الماء الأرضي (Skaggs, 1980)، وهذه العلاقة يتم تقديرها في العادة من حلول الحالة الثابتة، والتي تتطلب فهم دالة معامل التوصيل الهيدروليكي. ويمكن كذلك تقدير المسامية المصرفة والتسرب من خصائص التربة–المياه ومن فهم دالة معامل التوصيل الهيدروليكي في التربة غير المشبعة.

وتعتمد جدوى الري التحتي في موقع محدد على المصدر، والتكلفة، والاعتماد على مصدر المياه. وقد قام إيفانز وآخرون Evans *et al.* (1988a) بمناقشة أنواع كثيرة من مصادر المياه والاعتماد المرتبط بها والتكلفة في حالة الري التحتي. ويجب كذلك تحديد فواقد التسرب المحتمل. ففي أنواع التربة رديئة التصرف والتي لها حد حاصر (طبقة حاصرة) في القطاع الجانبي، فمن الطبيعي أن تكون الفواقد الرأسية صغيرة. ففواقد التسرب الجانبية، من ناحية أخرى، يمكن أن تستهلك ما يزيد على ٢٥٪ من سعة الضخ في بعض الحالات. ويمكن تقليل فواقد التسرب الجانبي باستخدام التصميم، والتخطيط، والإدارة الجيدة للنظام. ومتى كان الأمر ممكناً، فلابد من عمل ترع إمداد المياه بالقرب من منتصف الحقول التي يتم ريها بنظم الري التحتي بدلاً من أن يتم وضعها على حدود الحقل. ويجب كذلك أن يتم تجهيز القنوات الواقعة على حدود الحقل وترع المخرج بأبنية تحكم. وعندما لا يكون من الممكن التحكم في فواقد التسرب، فمن الضروري أن يتم حساب طول حد التسرب، والميل الهيدروليكي، ومعامل التوصيل الهيدروليكي على امتداد الحد. وقد قام ساجز Skaggs (1980) بوصف طرق لتقدير فواقد التسرب تحت ظروف الحالة المستقرة، مع أمثلة محددة حول كيفية تقريب فواقد التسرب إلى المصارف والقنوات القريبة، المجاورة للحقول التي لم يتم تصريفها، والتسرب الرأسي أو العميق.

وغالباً، يمكن أن يقوم مهندس يتمتع بالخبرة بتحديد مدى ملاءمة الموقع المحتمل لإدارة منسوب الماء الأرضي عن طريق عمل تحريات حول مواقع مماثلة. فوجود ستة شروط للموقع العام (مناقشة لاحقاً) سوف يوضح في العادة ما إذا كانت إدارة منسوب الماء الأرضي مجدية أو عملية أم لا.

١- *فوائد الصرف للموقع*: بالنسبة للتربة الموجودة في المناطق الجافة من شرق الولايات المتحدة، فإن إدارة منسوب الماء الأرضي تعد أمراً عملياً فقط في المواقع التي سوف تستفيد من الصرف تحت السطحي المحسن. وحيث لا يكون هناك حاجة للصرف تحت السطحي في ظل الظروف الطبيعية، كما في التربة التي تفتقر للمياه الجوفية الضحلة (تربة وافرة الرطوبة)، فإن تلبية احتياجات الري يتم عادةً في أكثر الأحوال فاعلية عن طريق نظم إضافة المياه بالطرق السطحية (مثل، الري بالخطوط، أو بالرش، أو بالتنقيط). وسوف يظهر تقرير مسح التربة أحوال الصرف الطبيعية لسلسلة محددة من أنواع التربة. ويتم تصنيف التربة على أنها رديئة الصرف بعض الشيء، أو رديئة الصرف، أو رديئة الصرف بدرجة شديدة مما سيعمل عادةً على الاستفادة من الصرف الصناعي والتي تعد مرشحة لإدارة مستوى الماء الأرضي.

٢- *التضاريسية*: إن التربة التي تدعم نظم إدارة مستوى الماء الأرضي تكون في العادة مسطحة نسبياً. فعلى سبيل المثال، فإن التربة رديئة الصرف والتي توجد في السهول الساحلية بالجنوب الشرقي، ومنطقة البحيرات العظمى في الوسط الغربي، والغابات الممتدة بفلوريدا، ودلتا نهر الميسيسيبي نادراً ما تشغل قطاعات أرضية على منحدرات تزيد على ٢٪. وفي الحقيقة، فقد تم تركيب قليل جداً من النظم على منحدرات تزيد عن ٠,٥٪. وعندما يقترب الميل إلى ١٪، فإن عدد وتكلفة أبنية التحكم للحفاظ على عمق مستوى ماء أرضي داخل مدى مرغوب لمحصول بعينه يصبح محظوراً من الناحية الاقتصادية. ويمكن أن تتحمل محاصيل الحبوب عادة مدى من عمق منسوب الماء الأرضي من ٠,٣٠ م إلى ٠,٤٥ م، بينما يمكن أن تتحمل محاصيل

الخضروات ضحلة الجذور فقط تقلباً في منسوب الماء الأرضي يساوي من ٠,١٥ م إلى ٠,٢٠ م بدون إظهار علامات إجهاد المياه خلال فترات الجفاف. وحينئذ يكون هناك حاجة لبناء التحكم لكل تغير في ارتفاع سطح الأرض المناظر لمدى منسوب الماء الأرضي المطلوب لهذا المحصول. ومن وجهة النظر الفيزيائية، فإن أقصى انحدار يمكن تحمله يميل إلى أن يكون خاصاً بالموقع ومرتبطاً بمعامل التوصيل الهيدروليكي. وعلى منحدرات تزيد عن ٢٪، يصبح من الصعب الحفاظ على عمق منسوب مياه منتظم بسبب التسرب الجانبي عندما يتجاوز معامل التوصيل الهيدروليكي ٠,٥ م/اليوم (٠,٧ بوصة/الساعة). وفي المقابل، فعند معامل التوصيل الهيدروليكي أقل، تصبح تكلفة المسافات بين المصارف الأقرب لبعضها مانعة. وبشكل عام، فإن المعامل المحدد بالنسبة للميل سوف يكون الاقتصاديات أكثر من ظروف الميل الطبيعي.

٣- *معامل التوصيل الهيدروليكي*: إن معامل التوصيل الهيدروليكي هو معامل التربة الأكثر أهمية الذي يؤثر على الجدوى الاقتصادية لنظام إدارة مستوى الماء الأرضي. وبالنسبة لعمليات التخطيط التمهيدية، يمكن تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي من القيم المسجلة في تقارير مسح التربة. وكما مع الميل، فإن قيم معامل التوصيل الهيدروليكي المانعة تكون دالة في الاقتصاديات أكثر من القيود الفيزيائية في تصميم وتشغيل النظام. وسوف يحدد إلى حد كبير معامل التوصيل الهيدروليكي المحدد لموقع بعينه قيم المحصول الزائد التي يتم الحصول عليها، أو القيم المحتملة لقيم الإنتاج العالية التي يتم الحصول عليها باستمرار عاماً بعد عام.

٤- *الطبقة الصماء ومنسوب الماء الأرضي الضحل الموسمي*: في المواقع المحتملة نمطياً توجد عند عمق ما من قطاع التربة، والذي يمنع فواقد التسرب الرأسية المفرطة. ويتم في الغالب مصادفة الطبقة الصماء فيما بين ١,٥م إلى ١٠م. وتزداد صعوبة تحديد موقع وجود الطبقة الغير منفذة (الطبقة الصماء) بشكل متزايد ببريمة حفر يدوية عندما يتجاوز عمقها ٣ م. ووجود منسوب الماء الأرضي الضحل الموسمي يعد عادة دليلا

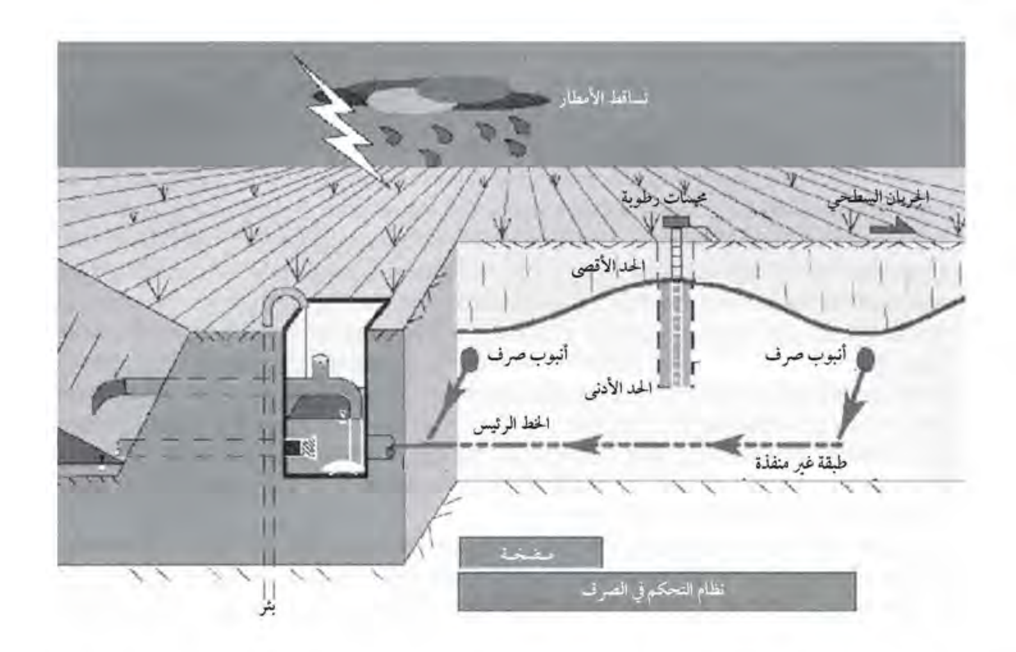
كافياً لإيضاح أن منسوب الماء الأرضي يمكن الحفاظ عليه في موقع عند ارتفاع مناسب للري تحت السطحي، سواء كان من الممكن تحديد موقع الطبقة الصماء أم لا. وبالإضافة إلى ذلك فإن عمق المياه الجوفية الضحلة الموسمية يعد مؤشراً على الصرف السنوي للموقع.

ويمكن تقدير عمق منسوب الماء الأرضي الضحل الموسمي من مسح التربة أو عن طريق المراقبة في الحقل. وتوضح النقاط الملونة باللون الرمادي في قطاع التربة موضع منسوب الماء الأرضي الموسمي في ظل ظروف الصرف الطبيعية. وعندما تقع النقاط ذات اللون الرمادي عند مسافة ٠,٥ م من سطح التربة، فإن هذا الموقع يصير مرشحاً لتطبيق إدارة منسوب الماء الأرضي. وبزيادة مسافة موقع النقاط الرمادية حتى ١,٠ م، فإن هذا الموقع يكون مناسباً من الناحية الهامشية ومن الممكن أن يسبب التسرب الزائد مشكلة. وفي هذه الحالة، فلابد من حساب العمق الفعلي للحد الحاصر. فأنواع التربة التي تكون النقاط الرمادية فيها واقعة على مسافة أكبر من ١,٠ م من السطح هي التي يتم تصريفها بشكل طبيعي. وفي هذه الحالات، فإن الاستفادة من الصرف تحت السطحي سوف يكون عند أدناه وسوف يتم تعديل التحكم في منسوب الماء الأرضي على أساس المستفاد من الري التحتي وحده. وما لم يكن في الإمكان تدبر وجود حالة صرف طبيعية، فسوف يحدث التسرب المفرط ولكن يكون الموقع مناسباً إدارة منسوب الماء الأرضي.

٥- *متطلبات مصب الصرف*: عند تقييم احتمالية أي موقع لكونه مناسباً لنظام إدارة منسوب الماء الأرضي، فإن مصب الصرف يعد اعتباراً أساسياً. إن مخرج الصرف الذي سوف يزيل المياه السطحية وتحت السطحية الزائدة خلال فترة زمنية مقبولة (بشكل نمطي تكون ٢٤ ساعة) يجب أن يكون متاحاً. وعندما يكون هناك مخرج يعمل على أساس الجاذبية يوجد عند مخرج مجرى مائي أو قناة متاحاً، فإن مخرج الصرف يجب أن يكون على مسافة على الأقل ١,٢ م أقل من أدنى نقطة من سطح الأرض

بالنسبة للنظام. وعندما يكون هذا المخرج غير متاح أو غير ممكن الوجود، فمن الممكن القيام بإنشاء بناء للصرف (مثل، غرفة تفتيش أو محطة ضخ) ويتم ضخ تدفق الصرف إلى ارتفاع أعلى مما هو في حالة الصرف إلى قناة صرف موجودة أو تم إنشاؤها أو تستعمل بغرض التخزين ثم استخدام هذه المياه في وقت لاحق لأجل الري التحتي. وفي بعض الحالات يمكن أن يكون هناك حاجة لإنشاء غرفة تفتيش صرف فقط لأجل الصرف تحت السطحي، حيثما يكون تدفق الصرف المتاح بفعل الجاذبية موجوداً لأجل الجريان السطحي. وأحد الأمثلة على غرفة تفتيش مصب الصرف الذي يتم ضخه تحت السطحي موضح في الشكل رقم (١٨,١)، وهذا النظام موضح في تشغيل نموذج الصرف المتحكم به. وفي الحالات التي يكون من اللازم ضخ مياه الصرف، يصبح من المطلوب تخزين أكبر كمية ممكنة من مياه الصرف في بركة قريبة داخل المزرعة أو في خزان للمياه. وعند تخزين هذه المياه، فمن الممكن استخدامها في وقت لاحق أثناء موسم النمو لتلبية متطلبات الري التحتي، وفي الغالب بدون الحاجة إلى أن يتم ضخها مرة أخرى. وهذا النظام المخصص للصرف تحت السطحي-الري التحتي يتطلب عادة القيام بالضخ فقط في اتجاه واحد. ومثل هذه النظم يمكن أن تستخدم عادةً تدفق الجاذبية في النموذج المضاد.

٦ - *متطلبات إمداد المياه:* إن الاعتمادية، وموقع، وكمية، وجودة مياه الري تعد اعتبارات حيوية في تقييم موقع إعداده للري التحتي. ويجب أن يتم وضع مصدر المياه في أقرب مكان ممكن لتقليل الفواقد الناتجة عن نقل المياه ولتقليل التكاليف. وسوف تختلف كمية المياه اللازمة للري التحتي بناءً على الطقس (تساقط المطر والبخر-نتح)، والمحصول الذي يتم ريه، وفقد المياه من الحقل عن طريق التسرب العميق والجانبي. ويمكن أن تتدرج متطلبات المياه من ٧٠ لتر/دقيقة/هكتار لأراض يتم ريها في الجنوب الشرقي من الولايات المتحدة إلى ٤٠ لتر/دقيقة/هكتار لأراض يتم ريها في الوسط الغربي الأكثر برودة وفي كندا.



الشكل رقم (١٨,١). نموذج للتحكم في الصرف والري التحتي عند تشغيل إدارة منسوب الماء الأرضي، التحكم في مستوى مصب المياه (غرفة التفتيش) يعتمد على التغذية الراجعة لعمق منسوب الماء الأرضي في الحقل.

وبمجرد أن يتم تحديد الملاءمة الفيزيائية لموقع لأجل استخدام إدارة منسوب الماء الأرضي، فلابد من القيام بتقدير تكلفة النظام ومناقشته مع مالك الأرض قبل تمضية مزيد من الوقت في التصميم. والتكلفة المتوسطة لكثير من مكونات النظام تكون متاحة عادةً من الهيئة المحلية للحفاظ على الموارد الطبيعية (NRCS)، أو هيئة الخدمة التوسعية التعاونية، أو مصنعي أنابيب الصرف، أو مقاولي الصرف في المنطقة. والتكاليف السائدة في النظام هي في العادة تكاليف أنابيب الصرف، وتركيب النظام، وإنشاء المخرج (إذا كان مخرج الجاذبية غير متاح)، وتكاليف إمداد المياه، وأجهزة التحكم في النظام. وإن أقطار أنابيب الصرف بالنسبة للخطوط الجانبية وخطوط التجميع الرئيسة

والمسافة بين المصارف يجب أن يتم تقديرها قبل حساب تكاليف الأنابيب والتركيب. وعند هذه المرحلة من عملية التصميم، فإنه يكفي أن يتم تقدير المسافات بين المصارف من القواعد المحلية الموجزة أو عن طريق الطرق المختصرة لأي من الصرف تحت السطحي (ومن بينه الصرف المتحكم به) أو الري التحتي، اعتماداً على أي البدائل هي المرغوبة أو الأكثر أهمية.

(١٨,٣) تصميم وتشغيل النظام في المناطق الرطبة

(١٨,٣,١) أهداف تصميم النظام

تشمل أهداف تصميم نظام التحكم في منسوب الماء الأرضي الأهداف التقليدية لنظم الصرف، بالإضافة إلى أهداف المحافظة على مياه التربة وتقليل حالات النقص في مياه التربة، إلى جانب تقليل فواقد الكيماويات الزراعية عند تصريف مياه الصرف. وهذه الأهداف تشمل:

- توفير ظروف يمكن تنقل المركبات الزراعية فيها أو يمكن العمل فيها؛ وبهذا يمكن القيام بعمليات الزراعة مثل، إعداد أماكن وضع البذور، والحراثة، والحصاد، بأسلوب زمني، وبدون تلف لقوام التربة.
- تقليل إجهاد النبات الذي يتسبب فيه حالات مياه التربة المفرطة.
- التحكم في ملوحة وقلوية التربة.
- تقليل أو إزالة إجهاد النبات الذي تتسبب فيه حالات النقص في مياه التربة.
- تقليل التأثيرات البيئية الضارة على خارج الموقع الناتجة عن فواقد الكيماويات الزراعية.
- الحفاظ والاستخدام الكفء للمياه المضافة عن طريق تساقط الأمطار، وبالتالي تقليل احتياجات مياه الري.
- صيانة بيئة مياه التربة، وبهذا فإن الممارسات الأخرى مثل الحفاظ على الحراثة، وبقايا ما بعد الحصاد، أو محاصيل التغطية، هي الأكثر فاعلية وفائدة.

وتعد الأهداف الثلاثة الأولى أهدافاً تقليدية بالنسبة لتصميم نظام الصرف. وللدمج بين الصرف المتحكم به أو الري التحتي، فمن الممكن الاهتمام بالأهداف الأخرى. والأهمية النسبية لهذه الأهداف تعتمد على الحالة، وتختلف من الناحية الموسمية من عام لآخر مع التربة، والمحصول، والموقع، والعوامل الكيماوية الحيوية. فعلى سبيل المثال، فإن شدة الصرف المطلوب لتوفير بيئة عمل على التربة للزراعة في الربيع يمكن أن تتسبب في التصريف الزائد وزيادة ظروف النقص في مياه التربة فيما بعد خلال موسم النمو. ويمكن تجنب هذا الموقف من خلال التصميم الملائم والإدارة الزمنية، بفرض أن مصمم النظام يأخذ في اعتباره على نحو سليم العوامل التي تتحكم في أداء النظام، ومن بينها الطبيعة المتغيرة لتساقط الأمطار. إن معلومات النشرة الجوية (مثل احتمال سقوط الأمطار) يمكن أن تصبح مدخلاً هاماً للتشغيل الزمني الفعلي لنظم إدارة المياه، وخاصة الإدارة المتكاملة للمياه والكيماويات الزراعية لتحسين جودة المياه.

ويمكن أن يكون هناك العديد من بدائل تصميم نظام إدارة المياه التي تعمل على تحقيق أهداف التصميم والمتطلبات البيئية. وما إذا كان سيعمل نظام ما أم لا على تحقيق الأهداف فهذا يعتمد على الموقع، والمحصول، وخواص التربة. وبالطبع فإن الأهداف نفسها يمكن أن تعتمد على إمكانيات الإدارة لدى المزارع المنفرد، والمعدات، والقوة البشرية المتاحة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون بعض المزارعين مهتمين فقط بالصرف المتحكم به ولا يشعرون أن إنفاق مزيد من التكاليف لأبنية الري التحتي يمكن أن يكون مبرراً لمغامرتهم في مزرعتهم. وفي تصميم النظام، مع هذا، لابد من أخذ التحول المستقبلي لنظام الصرف المتحكم به للتشغيل في نمط الري التحتي في الاعتبار.

(١٨,٣,٢) طرق التصميم

إن عمق المصرف عادة ما تحدده النفاذية النسبية لطبقات التربة، وعمق طبقات الصرف البطيء، وعمق المخرج، وقيود معدات التركيب، والمقاييس المحلية لميل وعمق المصرف. وعندما تسمح خصائص التربة والموقع بالمرونة في تحديد عمق

المصرف، فإن عمقاً بين ٠,٧٥ م و ١,٥ م سوف يكون العمق الأمثل عادةً. ولكن ومع التركيز الأخير على جودة المياه الناتجة من تدفق الصرف تحت السطحي، فإنه يُوصى (ADMS-TF, 2005) بأنه إذا أمكن يجب تجنب أعماق المصارف الأكبر من ١,٠ م (بدون وسائل تحكم في المخرج). والمصارف التي توضع على أعماق أكثر ضحالة، حتى بدون وجود وسائل تحكم في المخرج، تعمل على إزالة مياه أقل من قطاع التربة وبالتالي تقلل من الفواقد المحتملة للكيماويات الزراعية المضافة.

هناك العديد من الطرق المتاحة لتحديد المسافة المثلى بين المصارف في التصميم. فعلى أساس من حقل إلى حقل، سوف تعمل كل الطرق على توفير تقدير أفضل للمسافة بين المصارف المطلوبة إذا تم قياس معامل التوصيل الهيدروليكي المشبع والعمق إلى الطبقة المقيدة (الغير منفذة) في موقع محدد أكثر من التي يتم تقديرها من أعمال مسح التربة أو إرشادات الصرف المحلية. وإن تشغيل هذا النظام، سواء كان في نظام الصرف تحت السطحي التقليدي، أو الصرف الخاضع للتحكم، أو نمط الري التحتي، فإنه يختلف من يوم لآخر ومن عام لآخر. وهذا يزيد من تعقيد تصميم الصرف ونظم التحكم به ونظم الري التحتي. وفي معظم المواقع، ليس من الواضح ما إذا كان المطلب الأكبر في تصميم النظام هو توفير صرف جيد تحت منسوب المياه الجوفية الضحلة أو لتوفير ري تحت سطحي كاف لتلبية احتياجات البخر-نتح (ET) خلال الفترات الأكثر جفافاً. ولهذه الأسباب، فإننا نوصي أن يتم استخدام نهج نموذج المحاكاة للقيام بتحليل كامل ووضع التصميم النهائي لنظام إدارة منسوب الماء الأرضي، وللتنبؤ بأداء النظام على مدى ٢٠ إلى ٣٠ عاماً بالنسبة لظروف المناخ في الموقع. إن مناهج حل الحالة الثابتة، مثل حل هووقاودت مع استخدام معدلات صرف التصميم التي تم حسابها محلياً (Skaggs and Tabrizi, 1986)، يمكن أن يتم استخدامها للحصول على تقدير أولي جيد نسبياً للمسافة بين المصارف المطلوبة في نموذج الصرف تحت السطحي المناسب. وعندما يتم تشغيله في نمط الصرف المتحكم به أو الري التحتي، فإنه يمكن

استخدام حلول الحالة الثابتة التي يقدمها إرنست (1975) Ernst. ويعمل برنامج الحاسب SI-DESIGN (Belcher *et al.*, 1933) على توفير تقدير سريع للمسافة بين المصارف المطلوبة لتدفق التصميم المفاجئ. وهذه التقديرات سوف تعمل على تقليل عدد محاولات المحاكاة اللازمة لتحديد المسافة المثلى بين المصارف. وبخلاف هذا، فإن مدى أكبر من المسافات بين المصارف، بدءاً من المسافات شديدة الضيق إلى المسافات الواسعة جداً، سوف يكون هناك حاجة لمحاولة القيام بها في عمليات محاكاة متتابعة لتحديد المسافة المثلى بين المصارف.

(١٨,٣,٢,١) نموذج نمط الصرف DRAINMOD

إن نموذج المحاكاة باستخدام الحاسب الآلي DRAINMOD (Skaggs, 1978, 1980; NRCS, 1994) يمثل أحد أكثر الطرق شمولية المتعلقة بالتصميم مع الربط بين نظام إدارة المياه وخواص التربة، والظروف المناخية، واحتياجات المحصول (وخاصة الذرة وفول الصويا)، وبدائل الإدارة (Fouss *et al.*, 1987a). وقد وضع النموذج تحديداً لأجل تحليل الصرف تحت السطحي، والصرف المتحكم به، ونظام الري التحتي، وهو يأخذ في اعتباره تأثير تسرب مياه الأمطار، والبخر- نتح، والجريان السطحي، والصرف أو الري التحتي، والتسرب على عمق منسوب الماء الأرضي. ويتجنب النموذج استخدام طرق الحساب الرقمية المعقدة والمستهلكة للوقت عن طريق استخدام تبسيط الافتراضات مثل وجود ظروف "المصارف إلى الوصول إلى الاتزان" مباشرة فوق منسوب الماء الأرضي. ويسمح هذا بقيام أجهزة الحاسب الشخصية أو أجهزة محطات العمل على إجراء أعمال المحاكاة لتقييم خيارات تصميم النظام العديدة. ومع هذا لم يكن المقصود من وراء استخدام نموذج DRAINMOD أن يتنبأ أو يحاكي التغيرات المؤقتة في عمق منسوب الماء الأرضي (أو شكله) التي يمكن أن تحدث مع وجود التغيرات الكبيرة أو المتكررة في منسوب مياه مخرج الصرف كما هو الحال مع نظم إدارة منسوب الماء الأرضي المتحكم بها (Fouss, 19885). ويمكن أن يتم استخدام

النموذج بشكل مرضٍ لتصميم النظم المتحكم بها بفرض أن التغيرات في منسوب مياه المخرج تكون غير متكررة. وكما هو الحال مع النظم التي يتم التحكم بها يدوياً، أو الصغيرة (مثلاً، ±١٥,٠ م) حيث تحدث التغيرات الآلية في منسوب مياه المخرج بشكل لا يزيد تكراره عن ٣ أيام فاصلة بينها. وهناك نماذج محاكاة أكثر تعقيداً متاحة لأن يقوم المصمم باستخدامها في تقييم أداء الأبنية المختارة أو خيارات التصميم في حالة التحكم الآلي الكامل لمستوى مياه المخرج (وخاصة مياه الصرف التي يتم ضخها من أبنية مخرج المستنقع)، انظر فويز ورجورز Fouss and Rogers (1992).

إن خطوات استخدام نموذج DRAINMOD هي إجراء سلسلة من عمليات المحاكاة بأسلوب منتظم للوصول إلى مسافة مثلى بين المصارف وأفضل موضع للهدار في حالة التحكم في منسوب مياه المخرج أثناء موسم النمو، كلها بيانات قام بتوثيقها نولت Nolte (1986)، وإيفانز وسكاجز Evans and Skaggs (1989)، وهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS (1994). وهكذا فليس هناك مثال تفصيلي للتصميم معطى هنا. ويحتوي هذا الفصل على مختصر للنقاط الرئيسية ومناهج المحاكاة الإضافية الخاصة بنظم منسوب الماء الأرضي المتحكم بها. ويقترح إيفانز وسكاجز Evans and Skaggs (1989) أن المسافة بين المصارف الذي يتم حسابها من إحدى الطرق المختصرة، مثل معادلة إرنست Ernst (1975)، يمكن استخدامها كنقطة بداية. ويتم اختيار عمق هدار تقريبي ويتم إجراء عمليات المحاكاة على مدى من المسافات، على الأقل اثنان أقل واثنان أكبر من التقدير الأول. ويتم تمثيل الناتج النسبي بيانياً لتحديد المسافة التي تعطي أكبر إنتاجية. ويمكن إجراء عمليات محاكاة إضافية لثلاثة أو أكثر من أوضاع الهدارات بالنسبة لنظام الصرف المتحكم به وفترة تشغيل الري التحتي. وأعمال المحاكاة هذه توفر البيانات لأداء تقييم اقتصادي (Evans *et al.*, 1988b)، والمسافة بين المصارف وموضع الهدار التي تنتج أعلى صافي ربح ناتج يتم اختيارها على أنها معاملات التصميم النهائي. وبالنسبة لاختيار التصميم النهائي، فمن المقترح القيام

بخطوة تقييم إضافية، وهذا يتضمن القيام بأعمال المحاكاة حيثما يتغير زمن بدء الري التحتي (أي، رفع الهدار)، مثل، ابتداء ضخ الري مرتين إلى ثلاثة في الأسبوع بعد الزراعة في حالة محصول الذرة وتغيير زمن البدء من ٧ إلى ١٠ أيام حتى ظهور كيزان النبات. ويتضمن التقييم النهائي للتصميم استخدام المياه وتكلفة الضخ بالنسبة لأزمنة البدء المختلفة. ولا يشمل نموذج DRAINMOD تحليلات الأثر الاقتصادي أو البيئي، ولهذا فلابد من القيام بهذه التحليلات بشكل منفصل (انظر الجزء ١٨,٣,٣).

إن عمليات المحاكاة الأخرى للوصول إلى المسافة المثلى بين المصارف وكذلك أعماق التحكم في منسوب الماء الأرضي من المخرج (الارتفاعات) يمكن القيام بها بطريقة أسهل بعض الشيء باستخدام النموذج المعدل، DRAINMOD مع التحكم في التغذية الاسترجاعية (Fouss, 1985; Fouss *et al.*, 1989). وهذه النسخة من النموذج لديها روتين فرعي يعمل على القيام بتعديلات في المحاكاة بالنسبة لمستوى مياه المخرج (الهدار) عند بيانات سابقة الاختيار (مدخلات) ومستويات مسبقة التحديد، وعند مستويات مختلفة بناءً على كمية المطر المتساقط وعمق منسوب الماء الأرضي التي تمت مراقبتها في الحقل (أي، عمق منسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف بين المصارف)، ولمستويات مياه المخرج التي يتم تعديلها بشكل دوري والتي تقوم على إشارات التغذية الاسترجاعية لعمق منسوب الماء الأرضي الذي تمت مراقبته. ولهذا النموذج تطبيق مباشر في تصميم واختيار الطريقة التشغيلية النهائية لنظام إدارة منسوب الماء الأرضي، وما تجدر ملاحظته هنا بسبب التطبيق المحتمل له في الوصول إلى المسافة بين المصارف النهائية للتصميم والخطوط الإرشادية للتحكم في منسوب مياه المخرج. ويقترح كل من فاوس (1985) Fouss وفاوس وآخرين (1990) .Fouss *et al* القيام بعمليات محاكاة تكميلية لتقييم أداء تصميم النظام الذي تم اختياره (العمق والمسافات بين المصارف) بالنسبة للأعوام الأكثر ترطيباً والأكثر جفافاً خلال فترة من ٣٠ عاماً، والقيام بمقارنة أداء الطرق المختلفة أو النظم المختلفة للتحكم في مستوى مياه المخرج.

وبالنسبة لمعظم النظم، فإن مستوى مياه المخرج يجب أن يتم إبقاؤه ثابتاً نسبياً عند ارتفاع مثالي ما إذا كان أداء النظام وكميات إنتاج المحصول مقبولة. مثل هذه الخطة التشغيلية المبسطة تعمل على تقليل الحاجة إلى التعديلات المتكررة أو لتحكم أكثر تعقيداً (أي، التحكم الآلي في التغذية الاسترجاعية) لمستوى مياه المخرج، وبالتالي تعمل على تقليل تكلفة النظام.

ويسمح نموذج DRAINMOD-NII (Youssef *et al.*, 2005) بأن يحتوي تقييم تصميم نظام الصرف على تحليل شامل لتأثير تصميم النظام والمعاملات التشغيلية على نقل الأشكال المختلفة من النيتروجين داخل قطاع التربة وفواقد الجريان السطحي وتدفق الصرف تحت السطحي. وهذه النسخة من نموذج DRAINMOD تعد أداة هامة لتصميم نظم إدارة مياه الصرف، إلى جانب خططهم التشغيلية، لتلبية متطلبات جودة المياه المترتبة عليهم. وليس لهذه النسخة تحكم آلي أو خيارات إدارة تشغيلية متحدة مع شفرة التشغيل، غير تلك التغيرات التشغيلية التي يتم القيام بها يدوياً (مثل، عمق هدار المخرج) في تواريخ محددة التي يمكن أن تكون مدخلات لنموذج المحاكاة. ويتم التخطيط لعمل نموذج معدل لنموذج DRAINMOD-NII ليشتمل على نظم خيارات الإدارة التشغيلية، ومن بينها التحكم الآلي.

(١٨,٣,٣) تخطيط النظام وترتيب المكونات

في حالة كل من الصرف المتحكم به أو الري التحتي، فإن هناك حاجة لوجود عمق ثابت نسبياً لمنسوب الماء الأرضي عبر جزء كبير من الموسم الزراعي. ولتحقيق هذا الأمر، يجب أن يتم تقسيم الحقل إلى مناطق حيث لا تختلف الارتفاعات السطحية أكثر من ٠,٣ إلى ٠,٤٥ م. وداخل كل منطقة، تقوم أنابيب جانبية على مسافات متساوية بنقل المياه إلى الأنابيب المجمعة والتي تقوم بتوصيل المياه إلى مخرج النظام. وفي حالة الري التحتي، فإن نفس هذه الأنابيب "المجمعة" تقوم بتسليم مياه الري إلى كل منطقة.

وإذا تم افتراض وجود تدفق في أنبوب ممتلئ كلياً بدون وجود ضغط، فإن معادلة مانيق تقوم بالربط بين خشونة الأنبوب، ومساحة التدفق، ونصف القطر الهيدروليكي، وخط الميل الهيدروليكي (HGL)، ومن الممكن أن يتم استخدامها على أنها المعادلة الأساسية لتحديد قطر الأنبوب. وفي حالة نظم الصرف المتحكم بها، فإنه يتم القيام بعمل الأنابيب المجمعة بالحجم الذي يتلاءم مع أقصى معدل تصرف هناك حاجة له لتحقيق الأداء الأمثل للنظام مع أخذ خط الميل الهيدروليكي (HGL) على أنه ميل قاع أنبوب التجميع. وفي حالة الري التحتي، فلابد من اختيار حجم الأنبوب في الغالب بحيث يتلاءم مع كل من أقصى معدل تصرف الذي يكون فيه خط الميل الهيدروليكي مساوياً لميل القاع وكذلك مع معدل الري التحتي عندما يتم استخدام خط الميل الهيدروليكي (HGL) كدالة في أوضاع الهدار أثناء القيام بالري التحتي.

وهناك عدد من وسائل المساعدة المتاحة في التصميم لتحديد حجم أنابيب التجميع. وهذه الوسائل تتخذ شكل الجداول، والرسائل العلمية، والقواعد الجانبية، وجداول العمل في الحاسب الآلي، وبرامج الحاسب الآلي، فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام النموذج الرئيسي MAIN في تصميم SI-DESIGN (Belcher *et al.*, 1993) لتحديد الأقطار اللازمة لأنابيب التجميع الرئيسية والفرعية. ويقوم المستخدم بوصف تخطيط النظام عن طريق البيانات المدخلة المناسبة. ويقوم النموذج بحساب معاملات تصميم أنبوب التجميع مثل معامل التصرف، ومعدل الري التحتي، وعمق منسوب مياه الري التحتي، وعمق الأنبوب. ويمكن استخدام البيانات الناتجة من نمطي LSPACE وMAIN في نموذج COST لتقدير تكلفة تركيب النظام.

وتعد الخريطة التضاريسية والمفصلة أمراً ضرورياً للعمل على تحقيق التصميم السليم لنظام إدارة منسوب الماء الأرضي، وأثناء تشغيل النظام باستخدام الري التحتي، من الضروري أن يتم الحفاظ على المياه الجوفية الضحلة عند عمق منتظم نسبياً أسفل سطح التربة، وما لم تكن الأرض مسطحة تقريباً، فإن هذا يتطلب تقسيم الحقل إلى مناطق تحكم بمناسيب سطح منتظمة تقريباً.

وقد وصف بورنهام وبلشر Burnham and Belcher (1985) نظام المسح السطحي بالليزر الذي يساعد في تصميم وتخطيط نظم إدارة المياه. ويمكن استخدام مكونات معدات الليزر لعملية المسح الأرضي وكذلك للقيام بالتدريج الآلي والتحكم في عمق الماكينات التي تقوم بتركيب المصارف المغطاة أو القيام بتدريج الأرض (Kendrick-Peabody, 2004). وبالنسبة لعملية مسح الأرض فإن وحدة لاقط الليزر يتم تركيبها على عربة دفع بأربع عجلات ويتم قراءة مخارج ارتفاع اللاقط وتخزينها مباشرة عن طريق جهاز كمبيوتر متنقل خلال مرور العربة على كل نقطة من الشبكة يتم اختيارها بشكل مسبق. ويتم حساب عبور كل شبكة من خلال وحدة قياس التحرك على الأرض التي تكون متصلة بدائرة منطق بالحاسب الآلي أثناء تنقل العربة على امتداد الخطوط مسبقة الاختيار والتحديد في الحقل، مثلاً، حوالي ٣٠ م. وبشكل نمطي يمكن تغطية حقل مساحته ٣٢ هكتاراً (٨٠ أكراً) في ساعتين. وبعد انتهاء العمل في الحقل، يتم تحميل البيانات من جهاز الحاسب الآلي المتنقل ويتم جعلها برامج متاحة تجارياً والتي يتم استخدامها لرسم الخرائط التضاريسية-الكنتورية والصور ثلاثية الأبعاد للحقل، وهناك سطح تداخل إلكتروني بين التصميم والتركيب في طور التطوير. ومن المتوقع لنظام التحكم بالليزر الذي يتبع معدات التركيب سيكون قادراً على تنسيق عمل وتوجيه الماكينة أثناء التركيب، والتحكم في العمق والتدرج عن طريق استخدام البيانات التي تم تحميلها من جهاز التصميم. وحالياً تستخدم نظم تحديد الموقع العالمية المتاحة تجارياً (GPS) للحصول على بيانات مسح الحقل أثناء تركيب أنابيب الصرف.

وهناك حزم برامج متخصصة أخرى متاحة لمساعدة المهندسين في تطوير الخرائط التضاريسية، وتخطيط الصرف تحت السطحي ونظم التحكم في منسوب الماء الأرضي، وإعداد قائمة بالمواد اللازمة، وتقدير تكاليف المواد والتركيب. وتشمل أمثلة هذه البرامج برنامج SUBDRAIN (Bottcher *et al.*, 1984)، من جامعة كورنل، لتصميم الصرف تحت السطحي، وLANDDRAIN (Sands and Gaddis, 1985)، وبرنامج

التصميم بالاستعانة بالحاسب الآلي (CAD) لنظم الصرف تحت السطحي، باستخدام الخطوات الروتينية للحساب الآلي لحجم أنابيب الصرف. وفي كل الحالات، يجب أن يتم حساب المسافة بين المصارف بشكل مسبق باستخدام طرق أخرى. وهناك برنامج مصاحب، LANDIMPROVE (Sands and Gaddis, 1985)، متاح لتصميم برنامج تسوية وتدريج الأرض. وأخيراً، هناك الآن نظم مسح بالليزر قائمة على نظام تحديد المواقع العالمي GPS متاحة تجارياً لمساعدة المصمم أو المقاول في هذا الصدد (Grandia, 2002; Welch, 2002).[٢]

(١٨,٣,٤) الأهداف التشغيلية للنظام

لقد تم ذكر الأهداف العامة للتصميم وكذلك الأهداف التشغيلية لنظم إدارة منسوب الماء الأرضي في الأجزاء السابقة. فالأهداف التشغيلية المحددة لنظام إدارة منسوب الماء الأرضي يمكن أن تختلف مع المحصول، والتربة، والمناخ، وظروف التضاريس، ولكن الأهداف التالية تنطبق على معظم النظم المصممة للعمل في المناطق الرطبة:

- توفير ظروف تربة يمكن التنقل فيها والضرورية لإجراء العمليات الحقلية الزراعية في التوقيت المناسب، بدون التسبب في تلف قوام التربة (لاحظ أن تصريف قطاع التربة الذي يكون له عمق أكبر يمكن أن يمثل ضرورة خلال الزمن المطلوب للعمليات الحقلية).
- تقليل تكرار وفترة مياه التربة الزائدة في منطقة الجذور التي يتسبب في حدوثها تساقط الأمطار وكذلك تقليل فترات النقص في مياه التربة أثناء فترات الجفاف.
- منع التصرف الزائد لقطاع التربة، وبالتالي الحفاظ على منسوب الماء الأرضي عند عمق ضحل بصورة كافية يسمح بتوفير إمداد مياه كاف للتربة إلى منطقة جذور المحصول (وأيضاً تقليل الفواقد الزراعية في أي تصريف لمياه الصرف).

---

(٢) هناك ذكر لأسماء العلامات والشركات التجارية في هذه الدراسة للعمل على إفادة القارئ ولكن بدون ذكر موافقة أو تفضيل لأي من المنتجات التي ذكرتها USDA أو معاونوها.

• تقليل الحاجة إلى ضخ مياه الري التحتي من خلال الاستخدام الكفء لمياه الأمطار المتسربة.

وفي حالات التضاريس التي تتطلب الحاجة إلى وجود مخرج صرف تحت سطحي يعمل بالضخ (مثلاً، المخرج الذي يعمل بالجاذبية غير متاح أو ممكن)، فإن تقليل متطلبات الضخ (الطاقة) بالنسبة لتدفق المصرف المغطى يمكن كذلك أن يكون هدفاً هاماً. وكما هو ملاحظ مما سبق، فإن المبادرة وتعزيز وتنفيذ تكنولوجيا إدارة مياه الصرف (الصرف المتحكم به) لتحسين جودة مياه تدفق الصرف يمكن فقط أن يكون بداية التغيرات في أهداف تصميم إدارة المياه. وفي المستقبل، يمكن أن يكون من اللازم وجود إدارة متكاملة للمياه، والأسمدة، ومبيدات الآفات لتحقيق والحفاظ على جودة مياه سطحية وجوفية مقبولة.

(١٨,٣,٥) اختيار وتصميم الطرق التشغيلية

يوجز هذا الجزء الطرق المتعددة التي وضعت لغرض مزدوج لتشغيل الصرف المتحكم به ونظم الري التحتي لإدارة منسوب الماء الأرضي. وفي حالة كل من التشغيل اليدوي والآلي لنظم إدارة منسوب الماء الأرضي، فلابد من فهم المبادئ الأساسية واتباعها للعمل على تحقيق الأهداف التشغيلية.

(١٨,٣,٥,١) التشغيل اليدوي

كثير من النظم ثنائية الغرض في المناطق الرطبة يتم تشغيلها يدوياً. ويتطلب التشغيل اليدوي السليم وجود مهارة لدى المزارع أو المدير والانتباه لردود فعل النظام وأداء النظام. وهناك حاجة للقيام بزيارات حقلية متكررة خلال الموسم الزراعي لمراقبة عمق منسوب الماء الأرضي.[٣]

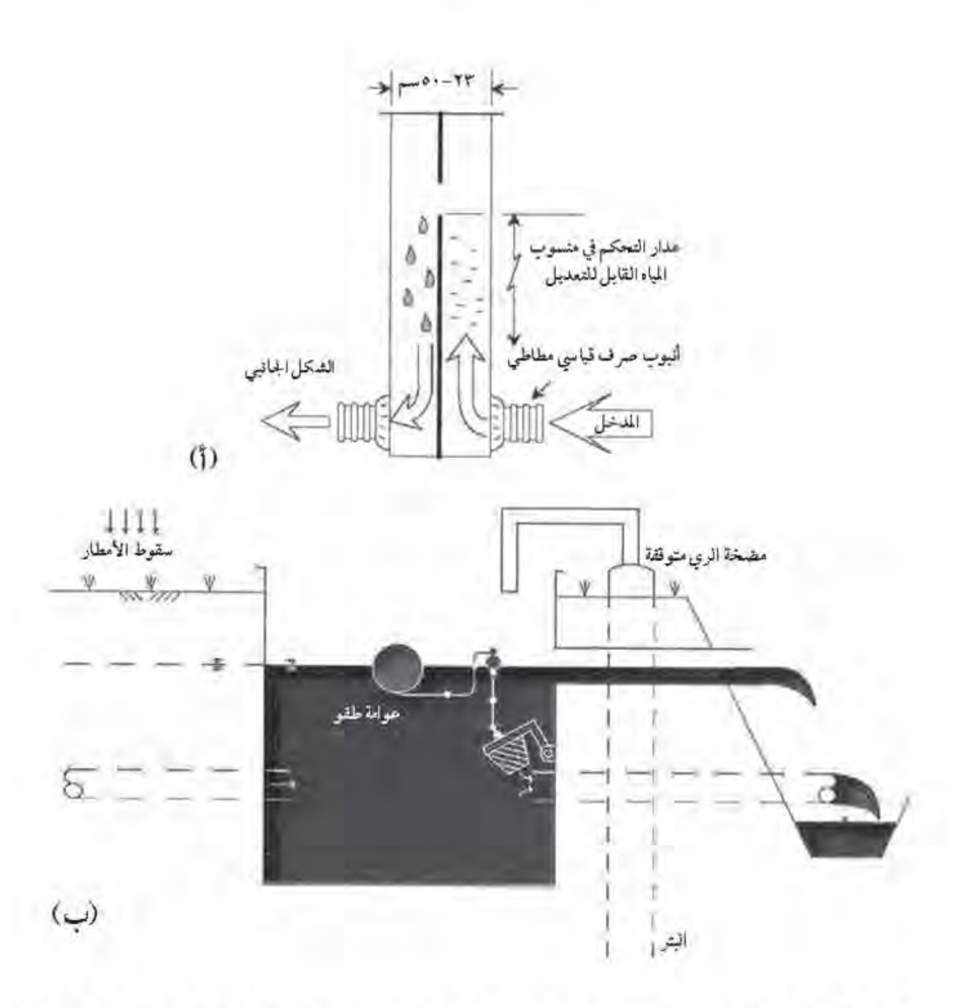
---

(٣) يتم القيام بقياسات منسوب المياه يدوياً بشكل شائع في مشاهدات الآبار الصناعية ذات الأقطار الصغيرة، والأنابيب المموجة، والأنابيب البلاستيكية التي يتم تركيبها بشكل رأسي في الأرض عند منتصف المسافة بين خطوط أنابيب الصرف. وفي بعض أنواع الترب هناك حاجة للقيام بعمل ماص مرشح أو ردم بالرمال حول البئر. وفي المعتاد يتم استخدام أنبوب نفخ لقياس عمق منسوب المياه.

ويتم بصورة شائعة التحكم في معدل الصرف عن طريق الهدار الذي يتم ضبطه يدوياً عند مخرج المصرف في كل منطقة أو في قناة المخرج الرئيسية، أو في قنوات توصيل رئيسة أو فرعية، أو ربما في خطوط المصارف الفرعية المنفردة. وبناءً على حجم وطول قناة مخرج فردية تتحكم في المنطقة، فإن استجابة عمق منسوب الماء الأرضي في الحقل يمكن أن تكون بطيئة نسبياً (عدة ساعات) بسبب كمية المياه الكبيرة التي يجب إزالتها (صرفها) أو إضافتها (الري التحتي) لتغيير مستوى المياه في القناة، انظر الشكل رقم (١٨,٢)، وهناك أمثلة على أجهزة تحديد التدفق للخطوط الفرعية تحت السطحية أو الخطوط الرئيسة تحت السطحية موضحة في الشكل رقم (١٨,٣أ) ورقم (١٨,٣ب)، وتكون استجابة منسوب الماء الأرضي في الحقل باستخدام هذا النوع من وسيلة التحكم في مستوى مياه المخرج أسرع مما هو عند استخدام قناة مخرج.



الشكل رقم (١٨,٢). رافعة العارضة عند قمة الهدار من النوع الذي يتم استخدامه في المصرف المكشوف. ومن الممكن أن يكون هناك حاجة لفترة زمنية طويلة لرفع أو خفض منسوب الماء الأرضي في القناة طبقاً لحجم القناة.



الشكل رقم (١٨,٣). (أ) جهاز تحديد التدفق من نوع الهدار داخل أنبوب صرف أو أنبوب رفع فرعية، و(ب) صمام التحكم في التدفق الذي ينشط بالطفو داخل أنبوب صرف أو أنبوب رفع فرعية.

وعند حدوث تساقط مفرط لمياه الأمطار، فإن مستوى المياه عند الهدار أو المخرج يمكن أن ينخفض إلى عمق المصرف ليسمح للنظام بأن يعمل في نمط الصرف تحت

السطحي المناسب إلى منسوب الماء الأرضي الأكثر انخفاضاً بسرعة أكبر. وللقيام بتشغيل النظام بطريقة يدوية، فإن خفض الهدار أو ضبط جهاز تحديد التدفق إلى وضع "الفتح الكامل" يتم تأجيله عادة إلى ما بعد العاصفة الممطرة، عندما تتواجد ظروف مياه التربة الزائدة بالفعل. ومن القرارات الرئيسة التي ترجع إلى المزارع فهي متى يقوم برفع أو إعادة تحديد مستوى مياه المخرج، والتأجيل لفترة طويلة يمكن أن يؤدي إلى التصريف الزائد من قطاع التربة، وعليه يتم تقليل الفواقد الزراعية المحتملة في تصريفات مياه التربة وتسارع الحاجة إلى الري إذا لم يعمل تساقط المطر اللاحق على إعادة مياه التربة المطلوبة إلى منطقة الجذور. وإذا انتظر المزارع إلى أن يتراجع منسوب الماء الأرضي المشاهد (المقاس) في منتصف الطريق بين المصارف إلى العمق السابق على العاصفة، فمن الممكن أن يحدث تصريف زائد لقطاع التربة، وخاصة في التربة ناعمة القوام. وخلال الفترات التي يكون هناك حاجة فيها إلى الري التحتي، فإنه يتم رفع هدار المخرج (يدوياً) ومن الممكن أن يتم ضخ مياه الري إلى تركيب هدار المخرج بشكل دوري عندما يكون هناك حاجة خلال ساعات مختارة كل يوم. ومن الممكن أن يتم استخدام صمام منشط بالطفو في خط مياه الري للحفاظ على مستوى المياه عند مستوى ثابت تقريباً تماماً أسفل ارتفاع تدفق الهدار. وإذا لم يكن إمداد مياه الري متاحاً، فإنه يتم رفع هدار التحكم في المخرج للتحكم في الصرف تحت السطحي ولاستبقاء مياه الأمطار في قطاع التربة إلى ارتفاع الهدار. وأي زيادة في مياه الأمطار تتدفق فوق الهدار المنضبط الوضع ويتراجع منسوب الماء الأرضي ببطء حتى ارتفاع الهدار.

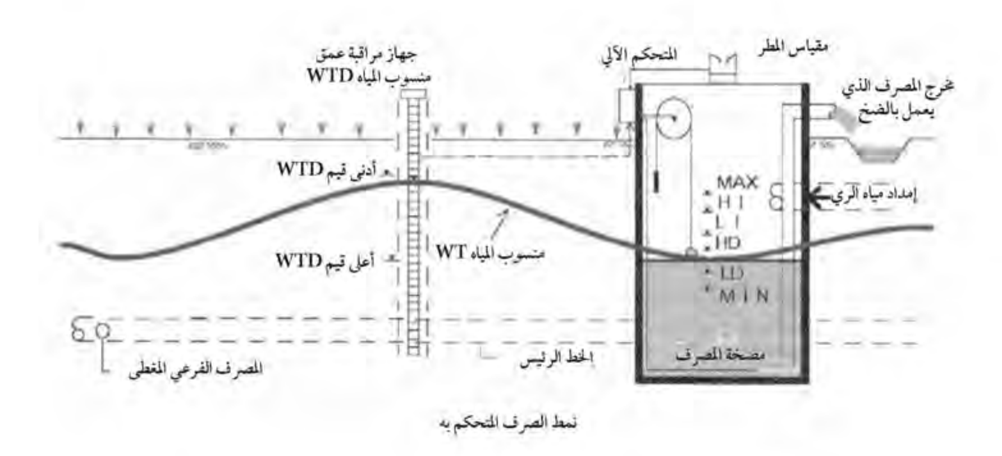
(١٨,٣,٥,٢) التشغيل الآلي

يعمل التشغيل الآلي للنظام ثنائي الغرض على توفير بديل لطرق إدارة النظام الذي يحتاج إلى عمالة مكثفة. فالتحكم الآلي للنظام يمكن أن يتخذ أشكالاً أو خيارات متعددة. فالتحكم الآلي بشكل كامل أو التحكم شبه الآلي لمستوى مياه المخرج، مع أو بدون التغذية الاسترجاعية لعمق منسوب الماء الأرضي المراقب في الحقل، سوف يسمح بأن يتم الحفاظ على منسوب مياه الحقل داخل حدود عمق مسبقة التحديد.

ولأغراض المناقشة هنا، من المفترض أن يتم توصيل أنابيب الصرف إلى بناء حوض تجميع للتحكم في مستوى مياه المخرج، ويمكن التحكم في مستوى المياه في الحوض المجمع أثناء دورة الصرف عن طريق الضخ من الحوض المجمع إلى قناة صرف سطحية (انظر الشكل رقم (١٨,١)). وأثناء الري التحتي، يتم الحفاظ على مستوى المياه في الحوض المجمع في إطار مدى مسبق التحديد عن طريق الضخ من مصدر خارجي مثل بئر ما. إن التحكم الآلي في مستوى مياه الحوض المجمع (SWL) للعمل على تنظيم التصرف تحت السطحي (أي، التصرف المتحكم به) والتدفق تحت السطحي إلى قطاع التربة يمكن أن يحتوي بشكل إضافي على خيارات مع أو بدون التغذية الاسترجاعية لعمق منسوب الماء الأرضي المراقب في الحقل (WTD) بين خطوط أنابيب الصرف. ومن المفضل أكثر بكثير وجود التحكم الآلي مع التغذية الاسترجاعية. وهناك شكل تخطيطي للقطاع العرضي لهيكل الحوض المجمع وجهاز الاستشعار WTD[٤] لمراقبة عمق منسوب الماء الأرضي في نمط الصرف المتحكم به للتشغيل موضح في الشكل رقم (١٨,٤)، وطريقة عملها هو تحويل نمط التشغيل بشكل آلي عن طريق وحدة التحكم في النظام من الصرف المتحكم به في الري التحتي، والعكس بالعكس، عند وجود حاجة للحفاظ على عمق منسوب الماء الأرضي SWL بين أقصى وأدنى ارتفاعات مستوى مياه محددة. وهناك ذكر موجز لمواصفات طرق التحكم المتنوعة موضح لاحقاً. وينبغي التأكيد هنا على أن الصرف فوق الزائد للحفاظ على أو لخفض منسوب الماء الأرضي سريع التغير إلى عمق ضحل أثناء أوقات سقوط الأمطار يمكن أن يؤدي إلى خسارة مفرطة في الكيماويات الزراعية في مياه الصرف المنصرفة. وهكذا، فهناك حاجة لاتباع الاتزان التشغيلي بين الصرف تحت السطحي المتحكم به وأنماط الري التحتي لمنع الفواقد الزراعية المفرطة قصيرة المدى في مياه الصرف (ADMS-TF, 2005).

---

(٤) قام كل من فويس وروجرز (1998 ,1992) Fouss and Rogers، وفويس وآخرين (1999) Fouss *et al.* بعرض مناقشات مفصلة للأنواع المختلفة من أجهزة مراقبة عمق منسوب المياه (WTD) التي يمكن استخدامها في نظم التحكم الآلية.



الشكل رقم (١٨,٤). نمط الصرف المتحكم به لإدارة منسوب الماء الأرضي – الحوض المجمع المتحكم به. WTD= عمق منسوب الماء الأرضي، HI= أقصى ارتفاع ري، LI= أدنى ارتفاع ري، HD= أقصى ارتفاع صرف، LD= أدنى ارتفاع صرف لمياه الحوض المجمع.

تفعيل التحكم بمفتاح الطفو: يمكن إعداد اتحاد من أربعة من المفاتيح الكهربية التي تنشط بالطفو لتشغيل مضخات الصرف والري في بناء حوض مجمع للمخرج. ويمكن استخدام مفتاح مفرد ينشط بالطفو عند أقصى ارتفاع لمستوى مياه الحوض المجمع إلى تغيير تشغيل النظام من الري التحتي إلى الصرف المتحكم به. ويمكن استخدام مفتاح مفرد آخر ينشط بالطفو عند أدنى ارتفاع لمستوى مياه الحوض إلى تغيير تشغيل النظام من صرف متحكم به إلى ري تحت سطحي. ويمكن استخدام زوجين من المفاتيح التي تنشط بالطفو لتشغيل مضخة الصرف بين مستويات الحوض المجمع في حالة الصرف العالي (HD) والصرف المنخفض (LD). ويتم استخدام زوجين آخرين من المفاتيح التي تنشط بالطفو لتشغيل مضخة الري (أو الصمام) بين مستويات مياه الحوض المجمع بين الري المنخفض (LI) والري المرتفع (HI)، وهذا النوع من نمط

التحكم لا يتضمن التغذية الاسترجاعية الحقلية لعمق منسوب الماء الأرضي (WTD). وتتطلب ارتفاعات مفاتيح الطفو في المعتاد إعادة تحديد موضع عتبة السيطرة بطريقة يدوية لضبط الارتفاعات الحرجة للتحكم في مستوى مياه الحوض المجمع (SWL)، وهي أدنى ارتفاع لمستوى مياه الحوض (MIN)، والصرف المنخفض (LD)، والصرف العالي (HD)، والري المنخفض (LI) والري المرتفع (HI)، وأقصى ارتفاع لمستوى مياه الحوض المجمع (MAX) في الحوض. ويمكن كذلك القيام بتشغيل مضخات الصرف تحت السطحي ومضخات الري التحتي (أو الصمامات) عن طريق المفاتيح الكهربية اليدوية، إذا كانت هناك رغبة في هذا، وهذا يتم عادة القيام به بشكل دوري للتأكد من عمل مضخات الصرف ومضخات الري أو الصمامات.

نظم التحكم بوحدة المعالجة الدقيقة: وهذا النظام يتم التحكم به آلياً بالكامل. ففي نمط الصرف المتحكم به، وبدون التغذية الاسترجاعية لعمق منسوب الماء الأرضي في الحقل WTD، فإنه يتم الحفاظ على مستوى المياه في الحوض المجمع SWL والارتفاعين الحاليين HD وLD في الحوض المجمع (الشكل رقم ١٨,٤) عن طريق ضخ المياه من الحوض المجمع. والارتفاعان المرغوبان HD وLD (مستويي مفتاح الغلق/التشغيل الكهربي لمضخة الصرف) يمكن أن يتم تخزينهما كقيم برمجية في نظام يتم التحكم به باستخدام وحدة المعالجة الدقيقة. وعندما يتراجع تدفق الصرف تحت السطحي وتنخفض قيمة SWL إلى أدنى ارتفاع (من خلال التدفق تحت السطحي من الحوض المجمع)، فإنه يتم تحويل تشغيل النظام إلى وضع الري التحتي. ومع التغذية الاسترجاعية لعمق منسوب الماء الأرضي في الحقل، فإن هذا النظام سوف يقوم بتشغيل مضخة الصرف كما هو مذكور سابقاً للصرف المتحكم به بدون التغذية الاسترجاعية، إلا إذا كانت قيمة عمق الماء الأرضي WTD واقعة خارج مدى العمق المرغوب ($WTD_{min} \leq WTD \leq WTD_{max}$) خلال فترة ٢٤ ساعة الماضية (من منتصف الليل إلى منتصف الليل). وإذا كانت قيمة WTD واقعة خارج المدى، فإن ارتفاعات التحكم

الحرجة لمستوى المياه في الحوض المجمع SWL (MAX، وHI ، وLI ، وHD وLD، وMIN) يتم ضبطها أتوماتيكياً لقيمة أعلى أو أقل، أيهما كان مناسباً، عن طريق استخدام مقدار قدره Y مخزن في برنامج الحاسب الآلي في برنامج التحكم بوحدة المعالجة الدقيقة، على مدى فترة ٢٤ ساعة التالية. وبمجرد أن يعود عمق منسوب الماء الأرضي WTD إلى المدى المرغوب، يتحول تشغيل النظام إلى الري التحتي في أي لحظة ينخفض فيها مستوى المياه في الحوض المجمع SWL إلى أقل من أدنى ارتفاع.

وفي نمط الري التحتي، وبدون التحكم بالتغذية الاسترجاعية، يتم الحفاظ على قيمة مستوى المياه في الحوض المجمع SWL بين ارتفاع الري العالي وارتفاع الري المنخفض عن طريق الضخ إلى الحوض المجمع من بئر قريب. والنظام الذي يتم التحكم به بوحدة المعالجة الدقيقة، كما هو موصوف سابقاً بالنسبة لنمط الصرف المتحكم به، يمكن استخدامه لتشغيل مضخة بئر الري. فعندما يقل الري التحتي الذي يتدفق بفعل الجاذبية من الحوض المجمع مستوى المياه في الحوض SWL إلى ارتفاع الري المنخفض، فإن مضخة الري سوف تعمل لرفع مستوى المياه في الحوض المجمع SWL إلى ارتفاع الري العالي. ولا يتم مراقبة عمق منسوب الماء الأرضي WTD في هذا النمط. ومع وجود التغذية الاسترجاعية، فإن عمل الحوض المجمع هو نفسه عند القيام بالري السطحي بدون تغذية استرجاعية. فيما عدا أن ارتفاعات التحكم الحرجة في مستوى المياه في الحوض المجمع SWL يتم تعديلها كما هو مذكور أعلاه في حالة الصرف المتحكم به مع وجود التغذية الاسترجاعية، مهما كان عمق منسوب الماء الأرضي المراقب في الحقل WTD خارج المدى المرغوب في الفترة من منتصف الليل إلى منتصف الليل أي فترة ٢٤ساعة. ونفس معامل تعديل التغذية الاسترجاعية Y الذي يتم استخدامه لنمط الصرف المتحكم به من الممكن أن يتم استخدامه لنمط الري التحتي، أو من الممكن أن يتم اختيار معامل تعديل مختلف Z، إذا لزم الأمر. وسوف تعتمد قيمة كل من Y، وZ على تصميم النظام، وخصائص التربة، واستجابة منسوب الماء الأرضي، ... إلخ،

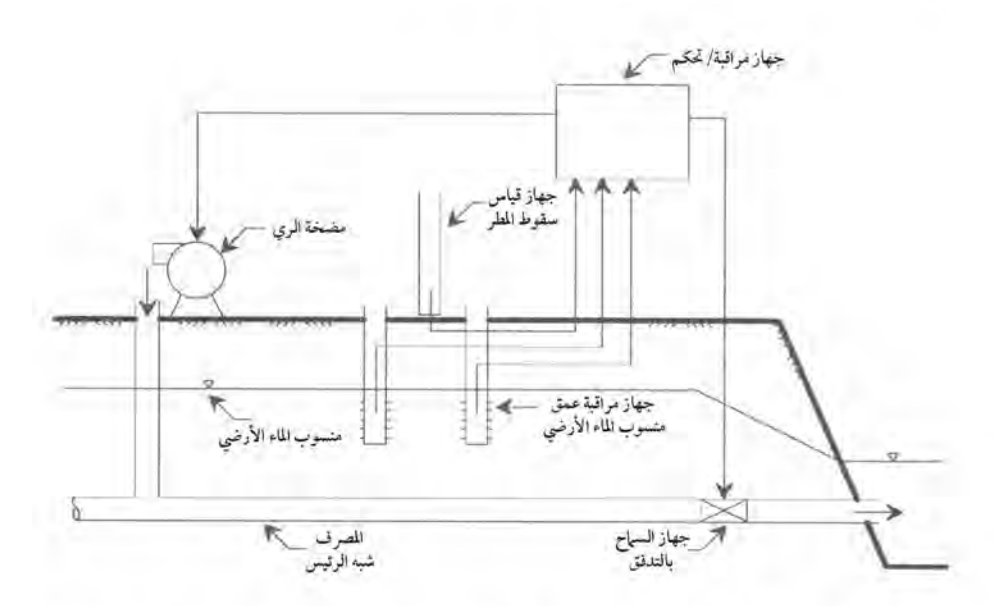
ولكن من المعتاد أن يتم وضع قيمة حوالي ١٠٪ إلى ١٥٪ من عمق المصرف. وإذا حدث تساقط للأمطار عندما يكون النظام يعمل في نمط الري التحتي، وتكونت كمية تراكمية تتجاوز النقطة الحرجة في فترة محددة من الزمن، فإن تشغيل النظام يمكن أن يتحول إلى نمط الصرف المتحكم به. وإذا لم يتجاوز سقوط الأمطار هذه النقطة الحرجة (التي تقوم على الخبرة في الموقع)، ولكن من الصعب أن يتسبب التسرب في حدوث صرف تحت سطحي إلى الحوض المجمع الذي يرفع مستوى المياه في الحوض المجمع SWL إلى أقصى ارتفاع، فإن تشغيل النظام سوف يتحول إلى نمط الصرف المتحكم به.

وقد سجل كل من فويس وروجرز Fouss and Rogers (1998)، وفويس وآخرين Fouss *et al.* (1995,1999) أحد الأمثلة على التشغيل الآلي بشكل تام للصرف المتحكم به ونظام الري التحتي للتحكم في منسوب الماء الأرضي، وهناك تفاصيل كاملة وضعها ويلز وآخرين Willis *et al.* (1991) حول التصميم وأهداف المشروع البحثي.

صمام الطفو شبه الآلي في نظم التدفق بالجاذبية: عندما يكون في الإمكان التدفق من المخرج بالجاذبية، فإن الطريقة البديلة للتحكم في مستوى المياه في الحوض المجمع في نمط الصرف تحت السطحي يمكن أن تتضمن صماماً ثنائي التنشيط بالطفو كالموضح في الشكل رقم (١٨,٣ب). فالطفو الأكبر يعمل على توفير طاقة كافية للإمساك بسدادة الأنبوب ومنعه من الانغلاق مرة أخرى إلى أن يتراجع مستوى المياه في الحوض المجمع إلى مستوى منخفض مسبق الإعداد. وآلية صمام مثل هذه تسمح بالتصرف تحت السطحي السريع أثناء حالات التدفق القصوى، والتي تعمل بشكل شبيه بالهدار ثنائي المرحلة الذي قام بوصفه فويس وآخرون Fouss *et al.* (1987b). وتسمح أنبوب التدفق الزائد في الحوض المجمع بالتصرف الكافي للتحكم في مستوى المياه في الحوض المجمع SWL أثناء حالات سقوط المطر الأقل عندما يكون التصرف السريع غير مطلوب؛ لأن حالات مياه التربة الزائدة تستمر فقط لفترات قصيرة من الزمن.

التشغيل الآلي لنظم التدفق بالجاذبية: في المناطق الرطبة، غالباً ما يكون للنظم ثنائية الغرض مناطق متعددة في الحقل مع قيام كل منطقة بإخراج مياه الصرف إلى مخرج رئيسي ويقوم المخرج الرئيسي بالتصريف عن طريق الجاذبية إلى قناة مفتوحة. إن القيام بجعل مثل هذه النظم آلية يتطلب تعديلاً بسيطاً للطرق المذكورة سابقاً بالنسبة لنظم المخرج التي تعمل بالضخ. وقد تم وضع نموذج محدد باستخدام الحاسب الآلي لنظام التشغيل الآلي، في جامعة ولاية ميتشجان (Belcher and Fehr, 1990). وهذا النظام قادر على تقليل تذبذب منسوب الماء الأرضي فوق أو أقل من الارتفاع المطلوب، مما ينبه من يقوم بالتشغيل إلى وجود مشكلات (مثل وجود مضخة لا تعمل)، وتوفير عرض بصري في المكتب (من خلال المودم والحاسب الشخصي) لما يحدث في الحقل، وتوفير القدرة للمستخدم أن يقوم بإدخال ارتفاع منسوب الماء الأرضي المطلوب في كل منطقة كدالة في الزمن، وتخزين بيانات التشغيل الصحيحة عبر الموسم الزراعي (أعماق منسوب الماء الأرضي، مدة الضخ، ... إلخ).

يقوم النظام باستخدام مياه الأمطار، وضخ الأنابيب تحت السطحية، والتغذية الاسترجاعية لمستوى منسوب الماء الأرضي المشاهد للتحكم في دورات الغلق/الفتح لمضخة الري. وعندما تمطر السماء، يقوم النظام بغلق مضخة الري ويعمل على تعديل جهاز التحكم في التدفق في كل منطقة عند الحاجة إلى إبقاء منسوب الماء الأرضي قرب العمق المرغوب. وعندما ينخفض منسوب الماء الأرضي إلى أقل من العمق المرغوب، يقوم النظام بتقييد تدفق الصرف ويعمل على تنشيط مضخة الري. ويسمح النظام لمن يقوم بتشغيل نظام الري التحتي بمراقبة وتعديل معاملات تشغيل الري التحتي من المكتب عن بعد من خلال الحاسب الشخصي والمودم. ويعد الشكل رقم (١٨,٥) رسماً تخطيطياً للنظام الآلي بالنسبة لمنطقة إدارة منسوب مياه مفردة. وقد قام ميتشجان بتصميم واختبار نظام له المقدرة على التعامل مع عدد من المناطق بلغ ١٦ منطقة (Belcher and Fehr, 1990).



الشكل رقم (١٨,٥). رسم تخطيطي لتحكم التغذية الاسترجاعية الآلي لتصرف الري التحتي بالجاذبية.

ولقد تم استخدام نوعين من أجهزة التحكم في التدفق في نظام التحكم الآلي هذا. الجهاز الأول يتكون من صمام غشاء حاجز يتم وضعه على الخط شبه الرئيسي. ويقوم جهاز التحكم بالتحكم في التدفق عن طريق انتفاخ الصمام والسماح للتدفق بتفريغ الصمام. والجهاز الثاني هو تعديل لبناء التحكم بالهدار الموضح في الشكل رقم (١٨,٣أ)، والذي فيه يتم إضافة موتور يعمل بالتيار الثابت لرفع أو خفض قاع لوحة الهدار للغلق أو للسماح بتدفق الصرف تحت السطحي. وهذا النوع من بناء التحكم بالهدار يعد متاحاً تجارياً، مثلاً، "نظام الصرف الذكي".[٥]

التحكم عن بعد: هناك ثلاثة أنواع عامة من التحكم عن بعد متاحة حالياً في نظم إدارة منسوب الماء الأرضي: التحكم بموجات الراديو أحادية أو ثنائية الاتجاه،

(٥) مؤسسة المصارف الزراعية، ١٤٦٢ الشارع ٣٤٠، أدير، للاستعلام ٥٠٠٢ : info@agridrain.com.

والاتـصالات الإلكترونيـة مـن الهواتـف الخلويـة، والاتـصالات الرقميـة مـن أجهـزة الحاسب الشخصي وأجهزة المودم عبر خطوط الهاتف. وتعد الاتصالات من خلال القمر الصناعي مجدية اقتصادياً فقط في حالة المشروعات الكبيرة والتي تقع على مسافات بعيدة من مركز اتخاذ القرار. وسوف يكون التطبيق النمطي للتحكم عن بعد بهدف تغيير نمط التشغيل عند واحد أو أكثر من أبنية المخرج (الحوض المجمع)، على سبيل المثال، لإيقاف ضخ مياه الري التحتي و/أو للسماح بتصريف النظام قبل حدث سقوط مطر غزير متوقع (انظر لاحقاً حول استغلال التنبؤات الجوية). ويسمح الاتصال بموجات الراديو ثنائية الاتجاه بالتأكد من أن التغيير التشغيلي تم القيام به بالفعل عند مواقع بعيدة. وتسمح الاتصالات الإلكترونية من خلال الحاسب الشخصي وجهاز المودم إلى نظام التحكم بوحدة المعالجة الدقيقة لأبنية الحوض المجمع بالتحكم المعقد عن بعد، أو بتوفير الوسائل لتخطي نظام تحكم آلي. مثل هذا التحكم عن بعد أو تخطي التحكم يمكن أن يسمح للمدير بتغيير مستويات المياه في الحوض المجمع في حالة الصرف المتحكم به، والري التحتي، أو مستويات مفاتيح النمط الأخرى، فقط من خلال تغيير القيم المخزونة في برنامج وحدة المعالجة الدقيقة. ويسمح نظام التحكم بوحدة المعالجة الدقيقة أيضاً بمراقبة معاملات الموقع الحقلية، مثل عمق منسوب الماء الأرضي، وكميات سقوط المطر، أو نمط التشغيل من جهاز الحاسب الشخصي في مركز التحكم.

أنماط التحكم الموسمية في التشغيل: في المنطقة عالية الرطوبة بالولايات المتحدة وكندا، تعد إزالة مياه التربة الزائدة من الحقل هي الدور الأكثر أهمية للنظام. وظروف الجفاف في التربة التي توجد في هذه المناطق عادة ما تكون ذات طابع مؤقت، وبالتالي يعمل النظام في الصرف المتحكم به أو نمط الصرف تحت السطحي المناسب في غالبية الوقت. وعندما يكون هناك حاجة للصرف السريع، فإن بناء التحكم في مستوى مياه المخرج يجب أن يتم ضبطه عند عمق قناة الصرف تحت السطحي لتوفير أقصى معدل للصرف، ولابد من إدراك أن من الممكن أن يتسبب هذا في حدوث فواقد مفرطة

للكيماويات الزراعية المضافة من قطاع التربة في حين يتم السماح بحدوث الصرف السريع. وعندما تكون هناك حاجة للعمليات الحقلية التي تستلزم تحرك مركبات زراعية، فإن مستوى مياه المخرج يجب أن يتم الحفاظ عليه قريباً من أو أعلى قليلاً من عمق المصرف حتى بعد أن يتم زراعة المحصول. والممارسة التشغيلية الموصى بها أثناء فصول الشتاء (عدم الزراعة) هي الحفاظ على النظام في نمط الصرف المتحكم به للحفاظ على منسوب الماء الأرضي الضحل في قطاع التربة، والذي يعمل على تقليل فواقد النيترات لأن تدفق المصرف للخارج يقل، ومن الممكن أن تتطور منطقة لإعادة النيترة في طبقات التربة العليا (Gilliam *et al.*, 1979, 1999). وأثناء موسم النمو، ينبغي التحكم في مستوى مياه المخرج (من خلال واحدة من الطرق المذكورة سابقاً) للحفاظ على عمق منسوب مياه الحقل ضمن المدى المرغوب بالنسبة لمنطقة جذور المحصول لتوفير إمداد ثابت من المياه إلى جذور النباتات باستخدام التدفق لأعلى. وفي فترة من أسبوع لعشرة أيام قبل حصاد المحصول، لابد من أن يتم تقليل مستوى مياه المخرج مرة أخرى إلى مستوى قريب من أو أعلى قليلاً من عمق المصرف لتوفير ظروف نقل جيدة لنقل مركبات الحقل لأجل عمليات الحصاد، وللعمل على تقليل الأضرار التي تلحق بقوام التربة نتيجة لحركة الآلات الزراعية في الحقل. وبعد الحصاد، تتكرر الدورة السنوية للتشغيل والتحكم المذكورة سابقاً.

استخدام النشرات الجوية للمساعدة في الإدارة التشغيلية: في كثير من المناطق عالية الرطوبة في الولايات المتحدة، فإن الاحتمالية المتوقعة لسقوط المطر وكمية سقوط المطر المتوقعة يومياً في خدمة النشرات الجوية القومية (مثلاً، النشرات الجوية اليومية، والتي تتكرر كل ثلاثة أيام، وكل سبعة أيام) تصبح دقيقة بشكل كاف لتسمح بتعديل التشغيل من يوم لآخر لنظم إدارة منسوب الماء الأرضي، وللمساعدة في وضع جداول زمنية لإضافة الأسمدة ومبيدات الآفات (Fouss and Willis, 1994; Schneider and Garbrecht, 2006). ومن الممكن أن تكون أهداف الإدارة الأساسية هي تقليل حدوث حالات مياه التربة الزائدة، وفترة دوام حالات النقص في مياه التربة، وتحسين كفاءة

استخدام مياه الأمطار المستلمة، وزيادة فعالية الأسمدة ومبيدات الآفات المضافة، وتقليل احتمالية حدوث فواقد.

على سبيل المثال، إذا كان من المتوقع سقوط كميات كبيرة من الأمطار، فإن تشغيل النظام يمكن أن يتحول من الري التحتي إلى الصرف المتحكم به أو الصرف تحت السطحي التقليدي لعدة ساعات إلى يوم قبل حدوث المطر المتوقع. وكذلك، فبعد سقوط الأمطار وحالة الانحسار اللاحقة لمنسوب الماء الأرضي إلى العمق المرغوب، فإن إعادة بدء الري التحتي من الممكن تأجيله إذا كان من المتوقع سقوط كميات كبيرة من الأمطار مرة أخرى خلال اليومين إلى ثلاثة أيام التالية. ومن الممكن أن تختلف أدنى نسب الاحتمالية لحدوث هذه الحالات في مناطق جغرافية متنوعة بسبب دقة النشرات الجوية الإقليمية (Schneider and Garbrecht, 2006). وسوف يكون هناك حاجة لاستشارة خبير أو وجود خبرة لتحديد أدنى نسب الاحتمالية التي تنطبق على أفضل نحو في منطقة ما. فاستخدام النشرات الجوية للمساعدة في الإدارة التشغيلية يتلاءم على أفضل نحو مع المحاصيل عالية القيمة، مثل الخضروات، والمحاصيل الأكثر تضرراً بظروف التربة المبللة.

(١٨,٤) تصميم وتشغيل النظام في المناطق الجافة

(١٨,٤,١) ظروف المناخ المميزة

في المناطق عالية الرطوبة يكون مصدر المياه المستخدمة في نظم التحكم في منسوب الماء الأرضي إما المطر المتساقط الذي يتسرب خلال التربة، والذي يتم إبقاؤه عن طريق وسائل التحكم التي توجد في نظام الصرف، أو المياه التي يتم ضخها إلى نظام الصرف. إن الطبيعة العشوائية لتساقط الأمطار تجعل من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، القيام بتحديد إتاحة مياه الأمطار في نظام تحكم في منسوب الماء الأرضي. وعندما يتم استخدام نظام الصرف للري تحت السطحي ويكون هناك مصدر متاح للمياه، فمن الممكن أن يتم ضخ المياه إلى نظام الصرف، عند الحاجة، للحفاظ على مستوى المياه. وفي هذه الحالة يكون مصدر المياه إما مجرى مائياً أو نهراً، أو مياهاً راكدة.

في المناطق الجافة وشبه الجافة يكون مصدر المياه الزائدة التي يتم استخدامها في نظام التحكم في منسوب الماء الأرضي هو بشكل عام التسرب العميق الناتج من الري على الحقل الذي يتم العمل فيه أو من التدفق الجانبي من حقل مجاور. وتكون كميات الأمطار في هذه المناطق بشكل عام محدودة وتضيف قليلاً من المياه إلى المياه الجوفية الضحلة. على سبيل المثال، يعد الجانب الغربي من واي سان جواكين منطقة شبه جافة، حيث يبلغ متوسط تساقط الأمطار بها ١٥٠ مم كل عام، ويحدث هذا عامة خلال فصول الشتاء. ويعد حدث سقوط المطر الذي يعطي في المتوسط ٥ مم أو أقل من المياه ليس بذي فاعلية في إمداد المياه سواء لاستخدام المحصول في فصل الشتاء أو للتسرب العميق. ومن الممكن أن يكون سقوط المطر أكثر أهمية في مناطق أخرى، مثل جنوب شرق أستراليا، مما يؤدي إلى تكوّن مناسيب ضحلة من المياه في فصل الشتاء أو بعد حالات سقوط المطر الغزيرة المتقطعة. وهذا يجعل إدارة الري أكثر صعوبة، ومن الممكن أن يساعد التحكم في منسوب الماء الأرضي في تحسين استخدام هذه المساهمات من تساقط الأمطار. وبشكل عام، فحيث إن تساقط الأمطار لا يعد مساهماً كبيراً في إمدادات المياه الإجمالية، فمن الممكن القيام بتقدير مدى توافر المياه الجوفية الضحلة بناءً على الاحتياجات المائية من تناوب المحاصيل وكفاءة وممارسات نظام الري.

(١٨,٤,٢) حالات المياه الجوفية الضحلة المميزة

تتأثر المياه الجوفية الضحلة بالطبيعة الجيولوجية للمنطقة وممارسات الري في الحقول المجاورة، بالإضافة إلى ممارسات الري في الحقل نفسه. وفي المناطق التي يغلب على التربة فيها الرواسب الطميية، فإن هناك في الغالب حزماً رملية أو مناطق في التربة لها معامل توصيل هيدروليكي عال تمر من الحقل إلى الحقل المجاور له عند أعماق أقل من ٢ م. وفي هذه الحالات، يتم نقل التسرب العميق في الحقول المجاورة إلى الحقل الذي يتم العمل به ويصبح التحكم في منسوب الماء الأرضي أكثر صعوبة بكثير. وفي المناطق عالية الرطوبة، تتميز حالات نوعية المياه الجوفية الضحلة بوجود الكيماويات الصناعية مثل النيترات، وعناصر الأسمدة الأخرى، ومبيدات الآفات. وفي المناطق

الجافة من الممكن أن تحتوي المياه الجوفية على الملح والعناصر النادرة، بالإضافة إلى الملوثات التي من صنع الإنسان، مما يجعل من الصعب القيام بتمييز أو تحديد نوعيتها.

سوف يتم في باقي هذا الجزء مناقشة تأثير الملح والعناصر النادرة في المياه الجوفية على إدارة المياه الجوفية الضحلة. وكثير من هذه الموضوعات تمت مناقشتها بتفصيل أكبر في موضع آخر من هذه الدراسة. ولكن، سيتم هنا عرض المفاهيم الرئيسية لوضع الأساس لمناقشة تصميم وإدارة نظم الصرف التي يتم استخدامها لإدارة منسوب الماء الأرضي في المناطق الجافة.

(١٨,٤,٢,١) ملوحة التربة

تشمل مصادر ملوحة مياه الري، الأسمدة، والمصادر الطبيعية مثل الملح المترسب من المحيط أثناء تكوّن التربة. وبغض النظر عن تفاوتها، فإن كل مياه الري تحتوي على الأملاح. فمياه الري التي يكون لها معامل توصيل كهربي قدره ٠,٣ ديسمنز/م تعد مناسبة للاستخدام مع كل المحاصيل، ولكن، حتى هذا النوع من مياه الري يحتوي على أملاح تساوي تقريباً ٢٠٠ مجم/لتر، والتي تتراكم في التربة خلال امتصاص المحاصيل للمياه.

في المناطق الجافة وشبه الجافة، من الشائع جداً أن تحتوي التربة على أملاح لها أصل جيولوجي، إن مادة الصخر الطيني الزيتي، وهي المادة الأصلية في التربة التي توجد في الوادي الكبير بولاية كلورادو، تحتوي على بلورات من الأملاح التي ترسبت أثناء الفترة التي تكونت فيها التربة تحت المحيط (Walker *et al.*, 1979). وقد تكونت التربة التي توجد على الجانب الغربي من وادي سان جواكين بكاليفورنيا من السلاسل الجبلية الساحلية، والرواسب البحرية، وكنتيجة لهذا فهي تحتوي على تركيزات عالية من الملح وبعض العناصر مثل البورون، والسيلنيوم، والزرنيخ، وغيرها من العناصر النادرة (Deverel and Fio, 1990). وفي جنوب شرق أستراليا فإن التخزين الضخم للأملاح التي تم العثور عليه في طبقات الأرض قد ترسبت عبر الزمن الجيولوجي من خلال الغبار ونقل مياه الأمطار (Herczeg *et al.*, 2001; Landaney-Bell and Acworth, 2002).

ويزداد تركيز الملح في التربة بشكل عام مع العمق في المناطق الجافة وشبه الجافة من الزراعة المروية. والتربة في المناطق المروية من جنوب شرق أستراليا وشبه الجافة في كثير من الأحيان تزداد الملوحة بها بمقدار ١٠ أضعاف بين عمق ١,٠ م و ٢ م (Hornbuckle and Christen, 1999). وفي التربة السطحية تتسرب الأملاح ويتم نقلها إلى عمق أسفلها، وبالتالي فإن تركيز الملح في التربة السطحية منخفض بما فيه الكفاية بحيث لا يتأثر سلباً إنبات البذور ولا نمو النبات في وقت مبكر.

إذا كان منسوب الماء الأرضي قريباً من سطح التربة، فمن الممكن أن يعمل البخر على نقل المياه والأملاح لأعلى من المياه الجوفية الضحلة المالحة وأن يعمل على تراكم الأملاح على سطح التربة. وعندما يقوم محصول ما باستخدام كميات كبيرة من المياه من المياه الجوفية الضحلة المالحة فإن الملح يتحرك مع المياه ويترسب في منطقة الجذور. وتعمل كلتا الحالتين على خلق قطاع ملوحة عكسي والذي فيه تقل ملوحة التربة مع العمق. وهذا النوع من القطاع يجب أن يتم التحكم به لمنع الآثار الضارة على إنبات البذور ونمو النبات. إن عملية الري السابقة على الزراعة أثناء فترة إراحة الأرض تعد واحدة من الطرق التي يتم توظيفها بشكل روتيني في وادي سان جواكين بكاليفورنيا للقيام بغسيل الأملاح واستعادة القطاع المالح قبل الزراعة.

(١٨,٤,٢,٢) الغسيل

يعد الغسيل مطلوباً للقيام بكل من الحفاظ على اتزان الأملاح في منطقة الجذور ومنع تكون قطاعات مالحة. وبفرض وجود إزاحة كبس وعدم مساهمة أي أملاح من المياه الجوفية، فإن أقل كمية مضافة من المياه اللازمة للحفاظ على الاتزان الملحي يُشار إليها باحتياجات الغسيل (L_r)، ويتم القيام بهذا بناءً على مدخل الملح وتحمل المحصول للملوحة وحجم الحد الأدنى من المياه التي يجب أن تمر خلال قطاع التربة للحفاظ على الاتزان الملحي. ويجب إضافة احتياجات غسيل الأملاح إلى احتياجات المحصول من المياه. ويمكن تقدير الاحتياجات الغسيلية من :

$$L_r = D_d^*/D_a = c_a/c_d^* \qquad (١٨,١)$$

حيث إن D_d يعادل العمق المار أسفل منطقة الجذور، و D_a العمق المناظر للإضافة (الري زائد المطر) (Hoffman, 1990)، و c_a متوسط التركيز الموزون للمياه المضافة، و c_d تركيز الملح في المياه التي تمر أسفل منطقة الجذور. وتتميز القيم المطلوبة مقابل القيم الفعلية عن طريق العلامة النجمية في الطباعة. وعندما يتم التحكم في منسوب الماء الأرضي لتوفير جزء من الاحتياجات المائية للمحصول، فإنه يكون هناك حاجة لتعديل قيمة c_a لتشمل ملوحة المياه الجوفية والنسبة المئوية للمياه التي يستهلكها المحصول (Fouss *et al.*, 1990).

وجزء الغسيل (L_f) هو كمية المياه الفعلية التي تمر عبر التربة بدلاً من الكمية المطلوبة. ويتم مواجهة احتياجات الغسيل في الغالب من خلال عدم كفاية الري و/أو عدم انتظامية توزيع مياه الري، أو حتى في بعض الحالات عن طريق سقوط الأمطار في الشتاء، وبالتالي لا يكون هناك حاجة لمزيد من المياه الإضافية للغسيل. وينطبق هذا بصفة خاصة عندما يتم استخدام طريقة الري السطحي، مثل الري بالغمر/الشرائح أو بالخطوط.

وتتحرك المياه التي تمر عبر منطقة الجذور إلى المياه الجوفية الضحلة حيث يتم إما جمعها وتصريفها للتخلص منها من خلال نظام الصرف تحت السطحي أو يتم تسربها إلى المياه الجوفية المحلية، أو إذا ظل منسوب الماء الأرضي ضحلاً من الممكن أن تتبخر المياه الجوفية مما يؤدي إلى تراكم الأملاح في طبقات السطح.

(١٨,٤,٢,٣) تحمل المحصول للأملاح

إن تحمل المحصول للأملاح، وملوحة التربة، وجودة المياه المضافة، وجودة المياه الجوفية، ومرحلة النمو سوف تعمل على وضع الاحتمال للمياه الجوفية الضحلة أن تلبي الاحتياجات المائية للمحصول. وقد تم تقدير مدى تحمل المحصول للأملاح من

خلال التجربة على أنها محاصيل حساسة إلى متحملة للأملاح. ويمكن تميز مدى تحمل الأملاح رياضياً باستخدام معادلة ماس-هوفمان (Mass and Hoffman, 1977)، والتي تضع قيمة حرجة للملوحة تبدأ عندها الإنتاجية في الانخفاض، ويختلف معدل انخفاض الإنتاجية مع أنواع المحاصيل ومدى تحملها للأملاح.

إن الدراسات التي تم استخدامها لتمييز ملوحة النبات تم القيام بها في ظروف ملوحة متساوية في منطقة الجذور، وهي حالة لا توجد بشكل عام في الحقل. وقد أظهر بحث آخر أن متوسط الملوحة في منطقة الجذور (Shalhevet, 1994) هو العامل الأكثر أهمية للأخذ في الاعتبار عندما يتم تمييز تحمل وتوزيع الملح في قطاع التربة. وسوف يقوم المحصول على نحو اختياري باستنزاف المياه من الأجزاء الأقل ملوحة في منطقة الجذور. وعندما يصبح قطاع التربة أكثر ملوحة، سوف يكون هناك مياه أقل متاحة لاستهلاك المحصول ويتم تزايد احتمال وجود فاقد في الإنتاج.

وحيث إن المحاصيل تقوم باستخدام المياه من منسوب الماء الأرضي الضحل، فقد وجد أنه من الواضح أن المحاصيل تستخدم المياه عند مستويات ملوحة أعلى من المتوقع عند استخدام معاملات ماس وهوفمان بدون حدوث انخفاض في الإنتاج، وأسباب حدوث هذا ليست مفهومة على نحو جيد، حيث إن المحاصيل تقوم فقط بشكل عام بتسلم جزء من احتياجات المياه الخاصة بها من منسوب الماء الأرضي (المالح) وتتسلم بقية احتياجاتها من المياه من مياه الري (غير المالحة) والحجم الكلي الموزون للملوحة الموجودة في المياه الذي يتم استخدامه من خلال المحصول من الممكن أن يكون متحملاً. ويمكن إيضاح هذا عن طريق استخدام بيانات أيارس وشونمان (1984) Ayars and Schoneman بالنسبة لمحصول القطن، وكان البخر-نتح المقدر للمحصول هو ٦٤٧ مم مع ٤٢٩ مم من المياه المضافة منخفضة الملوحة (٢ ديسمنز/م) و ١٦٧ مم من المياه المضافة المالحة (٧ ديسمنز/م). والمتوسط الموزون من المياه المضافة

من هذين المصدرين هو ٣,١٣ ديسمنز/م، وتعد هذه القيمة أقل من القيمة الحرجة للملوحة التربة التي سوف تؤدي إلى انخفاض في الإنتاجية، وحيث إن هذه القيمة أقل من القيمة الحرجة، فإن زمن امتصاص المياه من المياه الجوفية الضحلة له أيضاً تأثيره حيث إن كثيراً من استخلاص المياه يحدث في وقت متأخر من دورة النمو عندما يكون النبات في الغالب متحملاً للأملاح.

وقد تكون هناك أيضاً بعض الشكوك في الملوحة الفعلية للمياه الجوفية وبالتالي في المياه التي يمتصها المحصول، ويمكن أن يكون هذا راجعاً إلى الاختلاف المكاني في ملوحة المياه الجوفية عبر الحقل وأيضاً للاختلاف الزمني الناتج عن ارتفاع وانخفاض مناسيب المياه. وهناك كذلك تغير تمت مصادفته عن طريق جمع عينات من أعماق المياه الجوفية ومن أعماق أقل من ذلك ووجد تفاعل بين المياه الجوفية مع المياه في منطقة الجذور (Northey *et al.*, 2006).

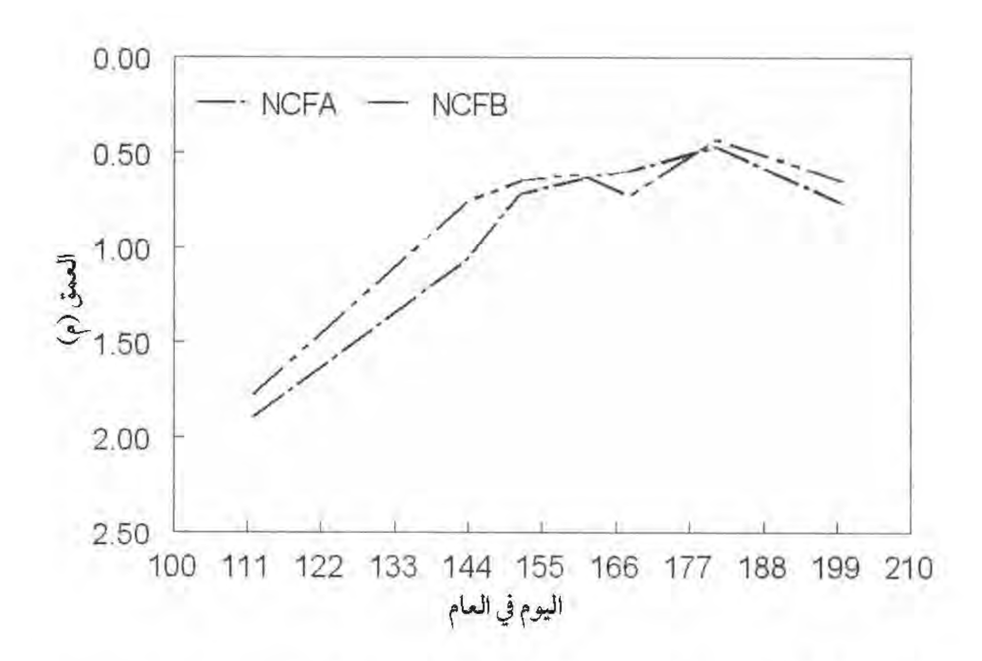
(١٨,٤,٢,٤) جودة مياه الصرف

إن جودة مياه الصرف ليست بشكل عام وصفاً دقيقاً لجودة المياه الجوفية الضحلة التي يتم استخدامها في نظام التحكم في منسوب الماء الأرضي. وتعد المياه الجوفية الضحلة التي توجد أسفل منطقة الجذور خليطاً من الأملاح التي توجد في حال اتزان مع ملوحة التربة عند هذا العمق والتسرب العميق من مياه الري المضافة. وتعد مياه الصرف التي تنتج من المصرف المغطى خليطاً من المياه الجوفية الضحلة والمياه الجوفية الأكثر عمقاً. وفي كثير من المناطق الجافة تصبح جودة المياه أكثر رداءة على نحو مستمر بزيادة العمق في قطاع التربة. ويوضح قريسمر Grismer (1990) أنه بزيادة المسافة بين المصارف أو بزيادة عمق المصارف، فإنه من ناحية التناسب يتم امتصاص مزيد من المياه من مكان أكثر عمقاً في قطاع التربة، مما يؤدي إلى جودة مياه أقل من المتوقع من جمع العينات من المياه الجوفية. ويوضح أيضاً كريستن وسكهان

(Christen and Skehan (1999 أن ملوحة مياه المصرف تزداد بزيادة عمق منسوب الماء الأرضي وبالتالي تصبح مسارات التدفق إلى المصارف أكثر عمقاً، وقد وجدا أن زيادة قدرها ٥٠٪ في ملوحة التدفق في المصرف منذ أن كان منسوب الماء الأرضي في منتصف المصرف عند ١م (٨ ديسمنز/م) وعند ١,٦ م (١١,٥ ديسمنز/م)، وإن جودة المياه التي توجد في العينات التي تم جمعها من المياه الجوفية الضحلة باستخدام الآبار المثبتة عند أعماق مناسبة سوف تعمل على توفير تمييز أفضل لجودة المياه الجوفية الضحلة أكثر من عينات مياه الصرف.

(١٨,٤,٢,٥) عمق المياه الجوفية

في المناطق المروية يكون مصدر المياه الجوفية الضحلة في أغلب الأحيان من التسرب العميق من الري غير الكفء، ونتيجة لهذا، استجابات تقلب المياه الجوفية لإدارة الري في المنطقة. وفي أوائل الموسم يكون من الصعب وضع جدولة لعمليات الري وأن يتم جعلها ملائمة لمنطقة الجذور الحاصرة للنباتات الصغيرة وغالباً ما يتم القيام بالري السابق على الزراعة. وعمليات الري هذه في أوائل الموسم تؤدي إلى أحجام ضخمة من الصرف بعد منطقة الجذور؛ ولهذا تكون المياه الجوفية في الغالب في الوضع الأقرب إلى سطح التربة عند بداية موسم النمو، وبتقدم موسم الري، فإن العمق إلى منسوب الماء الأرضي يزداد من خلال اتحاد التدفق الجانبي والرأسي في نظام المياه الجوفية وامتصاص النبات. وإذا كان نظام الري غير كفء، فمن الممكن أن يكون هناك حالة حيث يقل العمق إلى المياه الجوفية حتى نهاية موسم الري وهو الزمن الذي يقل العمق عنده بالتدريج. فعلى سبيل المثال، يوضح الشكل رقم (١٨,٦) بيانات عمق المياه الجوفية التي توضح زيادة في ارتفاع منسوب الماء الأرضي تحت قطعة الأرض المزروعة بالطماطم والتي يتم ريها بالخطوط في الحقل بدون وجود مصارف مغطاة. ويؤثر العمق إلى المياه الجوفية على الامتصاص الكلي من خلال النباتات ويبدأ زمن الامتصاص (Ayers *et al.*, 2006).



الشكل رقم (١٨,٦). استجابة منسوب الماء الأرضي تحت قطعتي أرض مزروعتين بالطماطم ويتم ريهما بالخطوط (NCFA, NCFB) في الحقل بدون وجود صرف تحت سطحي.

(١٨,٤,٣) اختيار، وإدارة، وتشغيل نظام الري

سوف يعتمد اختيار نظام الري على التربة، والمحصول، والظروف المالية للاستثمار، وتفضيل المدير، ويمكن أن يتم تقسيم النظم المتاحة إلى نظم تعمل بالضغط ونظم لا تعمل بالضغط، وداخل كل نوع هناك الكثير من الخيارات، وتشمل النظم التي تعمل بالضغط، الرشاشات (الحركة اليدوية)، والنظام المحوري، ونظام الحركة المستقيمة، ونظم التنقيط، والرذاذ الدقيق. وتشمل النظم التي لا تعمل بالضغط (طرق الري السطحية) الأحواض المستوية، والخطوط بالدفقات، و/أو نظم الأنابيب ذات الفتحات. وقد تمت مناقشة تصميم هذه النظم في موضع آخر من هذه الدراسة. والجوانب الهامة لتصميم نظام الري في هذا الجزء هي كفاءة الري المحتملة، والانتظامية، والإدارة.

وتتميز نظم الري غير المضغوطة بأنها النظم الأقل كفاءة في كفاءة الري وتوزيع الانتظامية في حدود من ٥٠٪ إلى ٨٠٪، مما يؤدي إلى تسرب عميق كبير، ويعمل معدل التسرب لسطح التربة على تحديد كفاءة الري المحتملة وانتظامية التوزيع بسبب تغير التسرب الزماني والمكاني. ومن الصعب جداً أن يتم إضافة أعماق صغيرة من المياه باستخدام الري السطحي باستثناء نظم الأحواض المستوية التي تضيف كمية أقل من ٥٥ مم في الإضافة الواحدة (Dedrick *et al.*, 1982). وتعمل النظم السطحية على أفضل نحو في التربة، مثل الطينية والطينية اللومية، بسبب معدلات التسرب المنخفضة لها مقارنة بالتربة الرملية.

ولأن النظم المضغوطة لها احتمال وجود انتظامية عالية في التطبيق، وانتظامية توزيع عالية، وأعماق إضافة صغيرة، فإنها تعمل على تمكين تحكم أفضل في فواقد التسرب العميق. وتمتاز النظم المضغوطة عن النظم غير المضغوطة بأن التسرب يتم التحكم فيه عن طريق معدل إضافة الرشاش بدلاً من التحكم بسطح التربة، ومع النظم المضغوطة من الممكن أن يتم إضافة كميات ري صغير حتى ٢ إلى ٤ مم، لثلاث أو أربع مرات يومياً، عند المقارنة بالنظم السطحية التي تكون محدودة بما يساوي ٥٠ مم على أنها الإضافة الأقل.

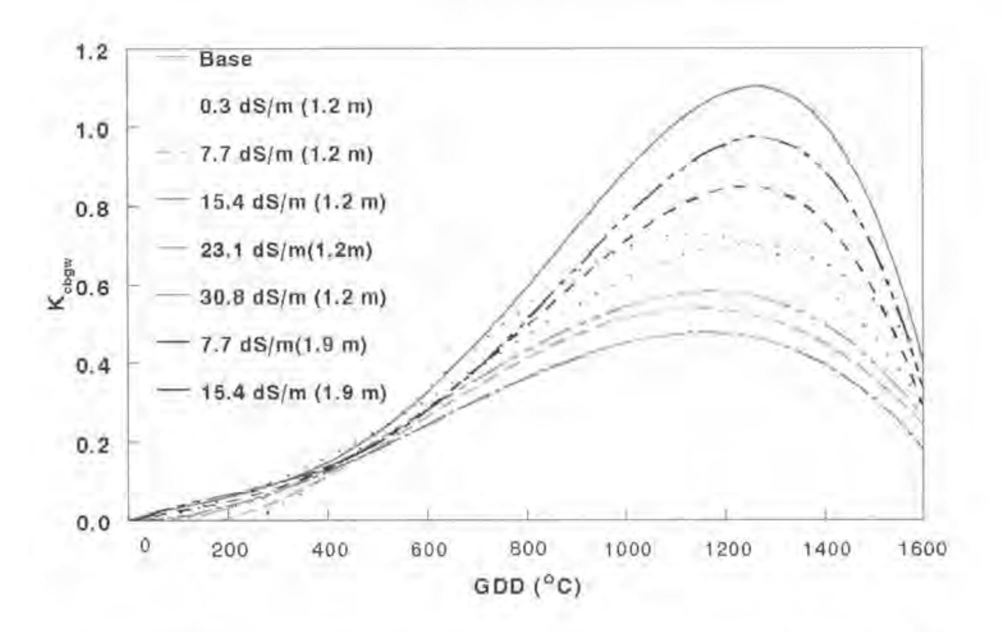
وتحدد جدولة الري زمن وعمق الإضافة، وفي وجود مياه جوفية ضحلة فمن الممكن أن يتغير توقيت وعمق الإضافة من خلال استهلاك المحصول للمياه من المياه الجوفية الضحلة، فالتوقيت يتغير لأن جزءًا من احتياجات المياه تلبيه المياه الجوفية، وليس المياه المخزنة في التربة، وتفترض حسابات اتزان الحجم التقليدية أن كل استهلاك المياه يأتي من مياه التربة المخزنة (Ayars and Hutmacher, 1994)، وبالتالي، تساهم المياه الجوفية في اتساع الفترة بين الريات عندما يكون التوقيت قائماً على استهلاك مياه التربة. وإذا كان يتم استهلاك المياه الجوفية المالحة عن طريق النباتات، فإن الأملاح تنتقل إلى منطقة الجذور ويتواجد الاحتمال لزيادة إجهاد الجهد الأسموزي لمياه التربة، والذي يضاف إلى الجهد الشعري. وسوف يستجيب النبات إلى الإجهادين المتحدين، ويتضح من هذا ضرورة القيام

بعملية ري مبكرة أكثر مما يفعل الإجهاد الشعري وحده. وفي هذه الحالة سوف يتم تحريك مياه أقل من مياه التربة المخزونة أكثر مما يتضح بالإجهاد الشعري وحده.

وقد وضعت طرق بديلة لتحديد مستويات إجهاد النبات التي يمكن استخدامها كمؤشرات لتوقيت الري في مناطق المياه الجوفية الضحلة. وقد تم استخدام جهد أوراق النبات، الذي يعكس الإجهاد الشعري والأسموزي، بنجاح لوضع جدولة لري محصول القطن (Ayars and Schonman, 1984; Kite and Hanson, 1984)، وتعد هذه التقنية متاحة ويمكن تطبيقها للمحاصيل التي لها قيم إجهاد لازمة لوضع جدولة الري.

وقد اتضح أيضاً أن مؤشر إجهاد مياه المحصول يعكس كلا من الإجهاد الشعري والأسموزي باستخدام قياس الحرارة باستخدام الأشعة تحت الحمراء لحساب درجة حرارة النبات، ويتم استخدام بيانات درجة الحرارة مع بيانات ضغط البخار لتحديد هذا المؤشر (Howell *et al.,* 1984)، وعند الوصول إلى القيمة الحرجة، تتضح ضرورة القيام بالري. وهذه التقنية محدودة بالوقت بعد الوصول إلى الغطاء الكلي لظلة النبات لمنع قراءات درجة حرارة التربة الخلفية من أن تؤثر على النتائج. وفي الوقت الحاضر يعد استخدام هذه التقنية محدوداً بسبب نقص البيانات اللازمة لتحديد قيم المؤشر الحرجة اللازمة لوضع جدولة الري.

وبعد تحديد الوقت الذي سيتم فيه القيام بالري، يتم حساب عمق الإضافة، وحالياً يتم القيام بهذا من خلال تحليل الجاذبية أو باستخدام الإضعاف النيتروني لتحديد استهلاك المياه في الفترة الزمنية بين عمليات الري، وهناك أجهزة جديدة يتم استخدامها لتحديد محتوى التربة من المياه مما يعد مبشراً باستخدام نظم قياس انعكاس المدى الزمني ونظم السعة. وقد أوضح أيارس وهاتماخر Ayars and Hutmacher (1994) معامل محصول القطن المعدل الذي يبرر مساهمة المياه الجوفية في استخدام المحصول للمياه كدالة في ملوحة المياه الجوفية والعمق مما يساعد على القيام بحساب اتزان الحجم لاستهلاك مياه التربة من خلال المحصول، الشكل رقم (١٨,٧).



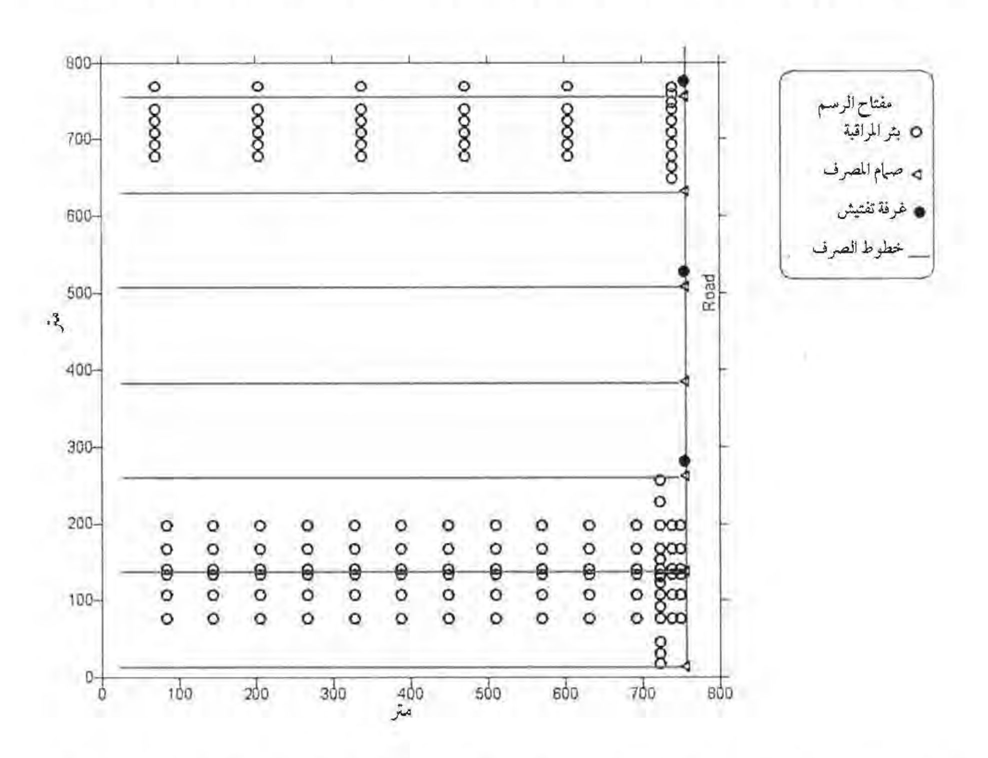
الشكل رقم (١٨,٧). معامل باسال لمحصول القطن والخسارات معاملات المحصول المعدلة المـــشتقة مـــن بيانات الليسوميترات لخمس كميات من المياه الجوفية عند أعماق مختلفة.

(١٨,٤,٤) تصميم نظام الصرف تحت السطحي لإدارة المياه الجوفية الضحلة

سيتم في هذا الجزء مناقشة إمكانيات التصميم في كل من النظم القائمة والنظم الجديدة على حد سواء. فهناك ملايين من الهكتارات من الأراضي التي يتم ريها وتصريفها والتي يمكن التفكير فيها من جهة إدارة المياه الجوفية الضحلة، فالقدرة على التحكم في التدفق من المصارف والحفاظ على منسوب الماء الأرضي عند مستوى مرغوب فوق جزء كبير من الحقل يعد العامل الرئيس في تحديد مدى ملاءمة هذا الحقل لإدخال تعديلات على التحكم في المياه الجوفية الضحلة، وكذلك، فإن تكلفة تعديل النظام والصعوبات المحتملة للعمليات الزراعية في الحقل يجب أخذها في الاعتبار في التصميم. وقد شملت تعديلات نظام الصرف السابقة استخدام صمامات تحديد التدفق

من نوع الهدار (الشكل رقم ١٨,٣ أ، ب) التي تم تركيبها عند الخطوط الفرعية للصرف (Lord, 1987) للتحكم في منسوب الماء الأرضي.

وعلى سبيل المثال، تم تعديل نظام صرف قائم في حقل مساحته ٦٥ هكتاراً على الجانب الغربي من وادي سان جواكين شبه الجاف عن طريق تركيب صمامات فراشة على كل فرع من أفرع الصرف السبعة (Ayars, 1996) لاختبار أبنية التحكم المحتملة. وبالإضافة إلى ذلك، تم تركيب الهدارات على امتداد الخط شبه الرئيس لتوفير التحكم الإقليمي لمنسوب الماء الأرضي، وهناك رسم تخطيطي للنظام موضح في الشكل رقم (١٨,٨)، في هذا النظام تم تركيب خطوط الصرف الفرعية بشكل عمودي على اتجاه الزراعة في الحقل.



الشكل رقم (١٨,٨). الرسم التصميم التخطيطي لنظام المصارف وأبنية التحكم في موقع دراسة إدارة المياه الجوفية الضحلة في حقل يقع على الجانب الغربي من وادي سان جواكين بكاليفورنيا.

وهناك أمثلة لأبنية التحكم البديلة في منسوب الماء الأرضي موضحة في الشكل رقم (١٨,٩) والشكل رقم (١٨,١٠). فالبناء الموضح في الشكل رقم (١٨,٩) تم استخدامه في الخطوط الفرعية الفردية في كرمة بأستراليا، وقد تم استخدام بناء الهدار الموضح في الشكل رقم (١٨,١٠) على الخط الفرعي لنظام الصرف المبين في الشكل رقم (١٨,٨). ويقدم الشكلان رقما (١٨,١١ أ، ب) عمق منسوب الماء الأرضي بين مجموعة من أفرع ثلاثة نظم صرف تحت سطحية في الحقل التجريبي في موعدين أثناء إنتاج محصول الطماطم. وقد أدى نظام التحكم في منسوب الماء الأرضي إلى مياه ري مضافة أقل وتحسين جودة المحصول في المناطق التي يكون منسوب الماء الأرضي فيها هو الأقرب لسطح التربة (Ayars, 1996; Atars *et al.*, 2000).



الشكل رقم (١٨,٩). بناء التحكم في الخط الفرعي الفردي المستخدم للتحكم في منسوب الماء الأرضي في كرمة بأستراليا.

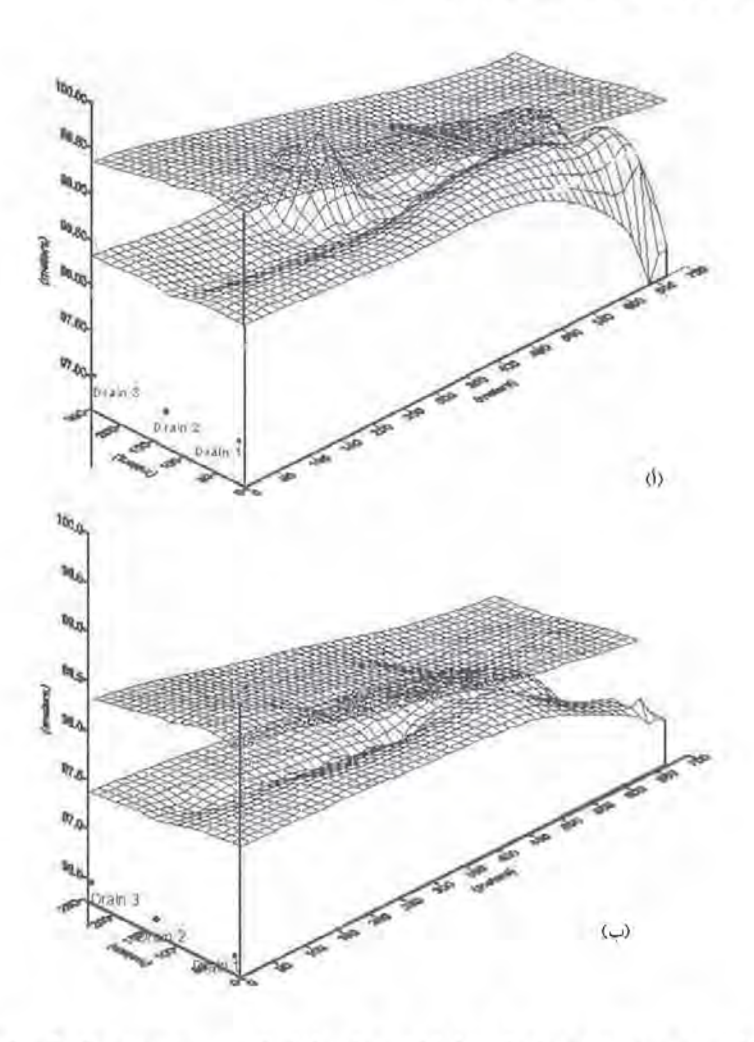


الشكل رقم (١٨,١٠). بناء التحكم المستخدم لقياس تدفق الصرف والتحكم في منسوب المياه في كاليفورنيا.

وفي دراسة قام بها كريستن وسكهان (2001) Christen and Skehan في كرمة بجنوب شرق أستراليا شبه الجافة لم يتم مقارنة الإدارة (التدفق المستمر) بالإدارة النشطة للمصارف المغطاة، التي تقع على عمق ٢ م وعلى مسافات فيما بينها تساوي ٢٠ م. وقد أدت إدارة النظام إلى منع الصرف بمجرد أن وصل منسوب الماء الأرضي إلى عمق ١,٢ م أو عندما كانت تحدث إحدى عمليات الري. وبدون الإدارة، تدفقت المياه باستمرار في المصارف أثناء موسمي الري بمياه تبلغ ملوحتها حوالي ١١ ديسمنز/م. وقد أدى هذا إلى حمل ملح صرف عبر الموسمين قدره ٥٨٦٧ كجم/هكتار. وكانت قياسات الإدارة قادرة على تقليل حجم الصرف وملوحته، مما أدى إلى تقليل قدره ٥٠٪ في حمل الملح. وقد قامت المصارف الغير مدارة بإزالة ١١ ضعفاً من الأملاح أكثر مما أُضيف في مياه الري (أي، كان هناك تعدين للملح الجيولوجي)، بينما عملت إدارة الصرف على تقليل هذا إلى خمسة أضعاف الملح المضاف (الجدول رقم ١٨,١). وقد

وجدت هذه الدراسة أيضاً أن ملوحة منطقة الجذور تم التحكم فيها بنجاح في المعالجة المدارة وأنه لم يكن هناك اختلافات في إنتاج الكرمة بين المعالجات.

وتوضح هذه النتائج التجريبية أن إدارة الصرف في المناطق المروية شبه الجافة يمكن أن يكون لها فوائد زراعية وبيئية.



الشكل رقم (١٨,١١). العمق إلى المياه الجوفية بعد غلق (أ) أو فتح (ب) صمامات التحكم الفرعية في الحقل الموضح في الشكل رقم (١٨,٨).

الجدول رقم (١٨,١). آثار إدارة الري على موسمي ري في جنوب شرق أستراليا شبه الجاف.

	مصارف غير مدارة	مصارف مدارة
حجم الصرف (مم)	٧٠	٤٧
ملوحة الصرف في عملية الري الأولى (ديسمنز/م)	١٢	١١
ملوحة الصرف في عملية الري الأخيرة (ديسمنز/م)	١١	٧
حمل الملح (كجم/هكتار)	٥٨٦٧	٢٩٧٨
نسبة الملح المنقول إلى الحمل المضاف	١١	٥

إن تصميم نظم الصرف لدمج إدارة المياه الجوفية الضحلة سوف يتطلب اعتماد معايير تصميم جديدة لعمق، وموضع فتحات تصريف المياه، والعمق إلى منسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف بين المصارف (Doering *et al.*, 1982; Ayars, 1996)، وهناك حاجة لتقليل كل من عمق المصرف وعمق نقطة المنتصف المسموح به من التوصية الحالية البالغة ٢,٤ م لعمق المصرف و ١,٢ م لعمق منسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف (وزارة الداخلية الأمريكية، ١٩٩٣). وسوف تتطلب التغييرات في التصميم التي تطلق المعايير الحالية معايير إدارة إضافية لمنع ارتفاع درجة ملوحة قطاع التربة.

إن التغيير الأول المقترح في تصميم الصرف تحت السطحي هو من خلال وضع عمق منسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف الموصى بها عند حوالي ٠,٩ م تقريباً في كل الحالات، وقد تم اختيار القيمة ٠,٩ م كحل وسط للسماح باستخدام المصارف التي يتم تركيبها عند عمق أكثر ضحالة وفي نفس الوقت الحفاظ على مسافة جانبية واسعة بدرجة معقولة. وقد شوهد في دراسة سابقة (Ayars and McWhorter, 1985)، أنه عندما يتم احتواء الاحتياجات المائية للمحصول في تصميم نظام الصرف، فإن أدنى عمق لمنسوب الماء الأرضي يحدث مبكراً في بداية الموسم عندما يكون عمق الجذور ضحلاً.

والتغيير الثاني في معايير تصميم النظام هو تقليل عمق المصرف للعمل على تقليل العمق الفعال لجمع المياه الجوفية باستخدام نظام الصرف، ولكن، تقليل عمق

المصرف يؤدي كذلك إلى تقليل المسافة بين الخطوط الفرعية للعمل على التحكم بشكل كاف لوضع منسوب الماء الأرضي الجوفية، وسوف يعمل متطلب تحديد موضع عمق منسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف على التعويض للعمل على الحفاظ على مسافة مناسبة بين المصارف في الحالات المروية.

وعن طريق تقليل العمق والمسافة بين المصارف، فإنه يتم جمع عمق أقل من المياه الجوفية في قطاع التربة، وفي الحالات التي تقل فيها جودة المياه مع زيادة العمق في قطاع التربة، فإنه سيتم استخراج مياه رديئة الجودة بكمية أقل (Grismer, 1990)، وسوف يؤدي التقليل في عمق المصارف أيضاً إلى أحجام أقل من المياه التي يتم تصريفها من المصارف ومزيد من المياه التي يتم استخدامها من قبل المحصول (Doering *et al.*, 1982). وإن وضع جدولة للري على دراية بإجهاد الملوحة عند إنبات البذور، ولاحقاً عند التدفق لأعلى من منسوب الماء الأرضي لتلبية الاحتياجات المائية للمحصول، وسيصبح جزءًا من إدارة الملوحة المطلوبة في منطقة الجذور في نظام إدارة الري/الصرف الكلي.

إن الخطوات المقترحة لتصميم نظام متكامل لإدارة المياه في المناطق الجافة هي على النحو التالي. وضع معيار عمق منسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف بناءً على النمو غير المحدود لجذور النبات كدالة في الزمن بحيث لا يتجاوز عمق الجذور عمق منسوب الماء الأرضي خلال موسم النمو. ويمكن تقريب نمو الجذور باستخدام البيانات الحقلية أو علاقة بورج وقرايمز Borg and Grimes (1986). والخطوة التالية هي وضع جدولة الري للمحاصيل باستخدام معامل محصول معدل (K_c) الذي يشبه ما تم وضعه من قبل أيارس وهوتماخر Ayars and Hutmacher (1994) لتحديد توقيت وعمق الإضافة. وبعد ذلك سوف يتم استخدام كفاءة نظام الري لتحديد فواقد التسرب العميق للنظام، والتي تعد من مدخلات برنامج التصميم، ويمكن استخدام طريقة أيارس وماك فورتر Ayars and McWhorter (1985) لحساب عمق منسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف باستخدام التسرب العميق للتصميم وجدولة الري.

وسوف يختلف العمق والمسافة بين المصارف إلى أن يتم التوقف عن خرق معيار امتداد الجذور، ويمكن عندئذ استخدام برنامج توازن مائي بسيط لتحديد التراكم الملحي في منطقة الجذور، وسيعمل هذا على توفير البيانات اللازمة لإدارة الاتزان الملحي.

(١٨,٤,٤,١) مثال لتصميم نظام المصارف باستخدام التغييرات المقترحة

لقد تم حساب المسافة بين المصارف وعمق المصرف لنوعين من أنواع التربة، الطينية اللومية والرملية اللومية، بناءً على سنة واحدة من البيانات المناخية للجانب الغربي من وادي سان جواكين، ووضع جدولة مقبولة للري مشتركة لكيفية نمو محصول القطن المزروع في هذه الأنواع من التربة. وقد تم التفكير في نوعين مختلفين لجدولة الري: أحدهما يفترض أنه ليس هناك مساهمة للمياه الجوفية لهذا المحصول، والآخر يفترض مساهمة المياه الجوفية. وقد تم العمل بكلتا الجدولتين بافتراض وجود كفاءتين للري قدرهما ٦٠٪ و٨٠٪، وهناك برنامج تم وضعه في مختبر أبحاث إدارة المياه في USDA-ARS الذي يقوم بتنفيذ طريقة التصميم الخاصة بأيارس وماك فورتر Ayars and McWhorter (1985) تم استخدامه في حساب المسافة بين المصارف وموضع منسوب الماء الأرضي، وقد تم إيجاز نتائج التصميم في الجدول رقم (١٨,٢).

وتوضح النتائج الموضحة في الجدول رقم (١٨,٢) أن تحسين كفاءة الري يؤثر بشكل كبير على المسافة بين المصارف المحسوبة مما يؤدي إلى تقليل تدفقات المصارف والأحجام التي يتم التخلص منها. وإن تدفقات المصارف المخفضة نتيجة لتحسين كفاءة الري أمر متوقع حيث يكون هناك تسرب عميق أقل للمياه. وأيضاً، من المحتمل استخدام مسافة أكبر بين المصارف في التربة الرملية اللومية، بالمقارنة مع المسافة في التربة الطينية اللومية، كما هو متوقع. وأيضاً ستعمل مساهمة المياه الجوفية في مياه المحصول على زيادة المسافات بين المصارف بالنسبة للحالة التي لا يتم فيها تضمين مساهمة المياه الجوفية في إدارة مياه المحصول.

وإن تصميم المثال الذي يعكس استخدام معايير تصميم USBR هو لعمق مصارف قدره ٢,٤ م مع عمق تصميم لمنسوب الماء الأرضي قدره ١,٢ م وكفاءة ري

قدرها ٦٠٪. وتعد هذه الحالة نمطية لنظام الري بالخطوط في أنحاء كثيرة من العالم، ويتم استخدامها هنا كقاعدة للمقارنة مع التصاميم الأخرى.

الجدول رقم (١٨,٢). موجز للمسافة بين المصارف المحسوبة باستخدام التغييرات التقليدية والمقترحة في معايير تصميم الصرف لتحديد جودة المياه.

عمق المصرف	عمق الماء الأرضي		كفاءة الري			
			المسافة بين المصارف (م) (مساهمة المياه الجوفية)		المسافة بين المصارف (م) (عدم مساهمة المياه الجوفية)	
(م)	(م)	نوع التربة	٦٠٪	٨٠٪	٦٠٪	٨٠٪
١,٥	٠,٩	طينية لومية	٣١٧	٣٤١	١٦٠	٣٢٠
١,٨	٠,٩	طينية لومية	٤٤٥	٥٧٣	٢٢٨	٤٤٧
٢,٤	٠,٩	طينية لومية	٦٣٠	٨٣٣	٣٨٠	٦٢٥
٢,٤	١,٢	طينية لومية	٥٤٣	٧٠٧	٢٩٩	٥٤٢
١,٥	٠,٩	رملية لومية	٤٩٥	٦٣٨	٢٨٥	٤٦٨
١,٨	٠,٩	رملية لومية	٧٠٩	٩٢٦	٤٠١	٦٤٢
٢,٤	٠,٩	رملية لومية	٩٩٤	١٣٨١	٦٠٠	٨٩٠
٢,٤	١,٢	رملية لومية	٨٦١	١١٦٨	٤٩٩	٧٧٣

وحدث ما لم يكن متوقعاً وهو أن المسافة بين المصارف في التصميم بالنسبة لعمق المصرف البالغ ١,٥ م، ويبلغ عمق المياه الجوفية للتصميم ٠,٩ م، وكفاءة الري ٨٠٪ بدون مساهمة المياه الجوفية لاستخدام المحصول للمياه، كانت ٣٢٠ م في التربة الطينية اللومية، و ٤٦٨ م في التربة الرملية اللومية، وهي مشابهة لما تحقق من نتائج كفاءة الري البالغة ٦٠٪ مع مساهمة المياه الجوفية في استخدام المحصول للمياه، حيث كانت المسافة بين المصارف ٣١٧ م في التربة الطينية اللومية، و ٤٩٥ م في التربة الرملية اللومية. وهذا مساو تقريباً للمسافة بين المصارف التي ذكرتها هيئة استصلاح الأراضي الأمريكية USBR لكل من نوعي التربة وهي ٢٩٩ م في التربة الطينية اللومية و ٤٩٩ م في التربة الرملية اللومية. ومن منظور تكلفة التركيب، فإن التغيرات المقترحة لا يُتوقع

أن تكون أكثر تكلفة من تصاميم هيئة استصلاح الأراضي الأمريكية USBR وربما أقل. وتتوافق التصاميم البديلة مع المعايير الجديدة المقترحة للتركيبات الأكثر ضحالة والعمق الأكثر ضحالة لمنسوب الماء الأرضي عند نقطة المنتصف.

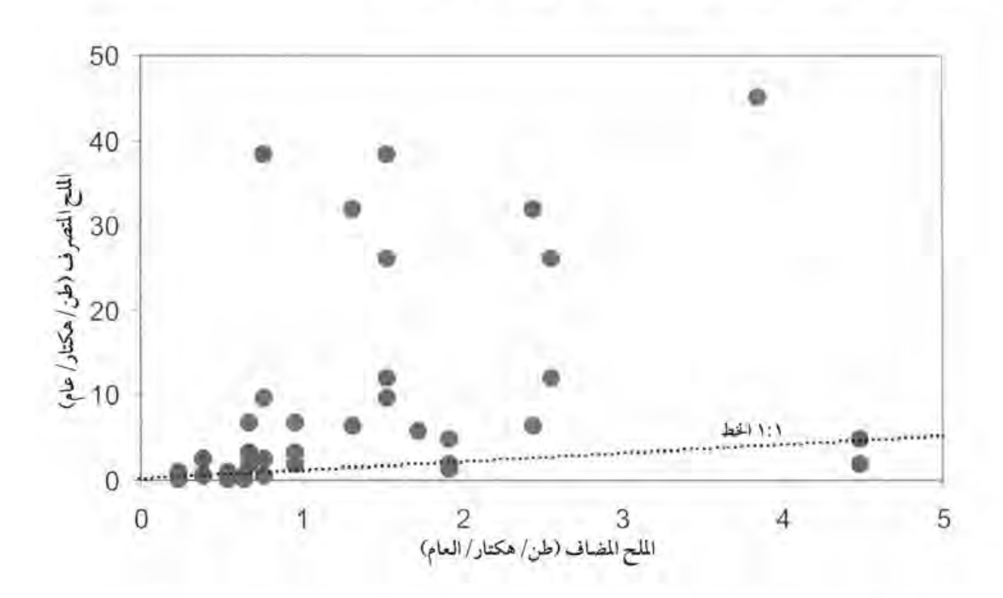
وتوضح النتائج أن هناك طريقتين لتحقيق أعماق التصميم الجديدة، والطريقة الأولى تكون من خلال تحسين كفاءة الري من ٦٠٪ إلى ٨٠٪، والتي يمكن القيام بها من خلال التغيير من نظم الخطوط إلى النظم المضغوطة أو نظام الخطوط الذي يتم إدارته بكثير من الاجتهاد، والطريقة الثانية تكون من خلال احتواء استخدام مياه المحصول من المياه الجوفية الضحلة لتعمل على موازنة عدم الكفاءة في نظام الري، مما يؤدي تقريباً إلى نفس المسافة بين المصارف المحسوبة.

وهناك تطوير مفاهيمي مماثل لممارسات تصميم وإدارة الصرف لتقليل الفاقد من مياه الري، ولتحسين استخدام المحصول للمياه من مناسيب المياه الجوفية، ولتقليل أحمال الملح في الصرف تم وضعه للصرف تحت السطحي في استخدامات الأراضي المروية في أستراليا (Christen and Ayars, 2001)، وقد جاء هذا كرد فعل للقيود دائمة الزيادة على التخلص من مياه الصرف تحت السطحي إلى المجاري المائية نتيجة للمستويات العالية للأملاح، ولمدى أقل للكيماويات الزراعية.

(١٨,٤,٥) إدارة نظام الصرف تحت السطحي

يتعامل الجزء المذكور سابقاً مع معايير جديدة للتصميم لإدارة منسوب الماء الأرضي. وإلى جانب هذه المعايير الجديدة للتصميم يكون من المطلوب تصميم خطة إدارة تشغيلية والتي تحدد الكيفية التي سيتم بها إدارة نظام الصرف، ولهذا أيضاً أهمية كبيرة في إدارة نظم الصرف تحت السطحي القائمة بالفعل، والتي لم تستفد من معايير التصميم الجديدة لنظم الصرف المحسنة؛ وبهذا تستفيد هذه النظم من الإدارة الماهرة، وقد وجد كريستن وآخرون Christen *et al.* (2001) عند استعراضهم أثني عشر نظاماً من نظم الصرف تحت السطحي في المناطق المروية بأستراليا أن معظم النظم كانت تقوم

بتصريف أحجام من المياه أكبر مما تم تصميمها عليه، مما يؤدي إلى كميات غسيل عالية بشكل مفرط، وتقليل كفاءة استخدام مياه الري، وقد وجدوا أيضاً أن حمل الملح الذي تمت إزالته بهذه النظم في الغالب أكبر من الملح المضاف عن طريق الري، مما يوضح تعدين الملح الجيولوجي، الشكل رقم (١٨,١٢).



الشكل رقم (١٨,١٢). أحمال مياه الري ومياه الصرف من ملح في ١٢ منطقة مروية بأستراليا.

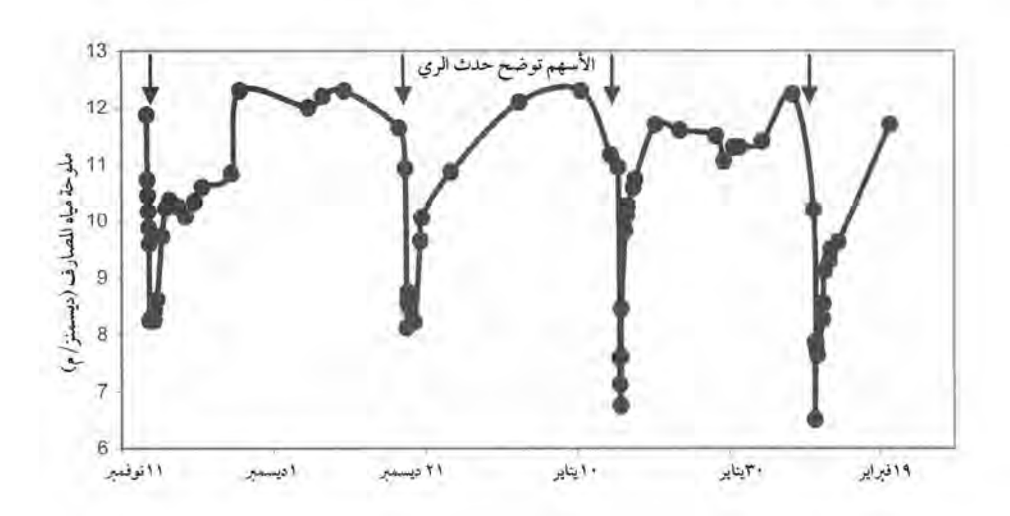
وتركز إدارة نظم الصرف تحت السطحي في المناطق المروية شبه الجافة على تقييد تدفق الصرف في فترات معينة، مما يؤدي إلى ارتفاع منسوب الماء الأرضي لأعلى حيث إن هذا يحدث عادة بشكل طبيعي إذا تم السماح للمصارف بالتدفق بحرية. وتعتمد طريقة تقييد تدفق المصارف على تصميم نظام الصرف، وسهولة الإدارة، والتضاريسية، والتكلفة. ومن الممكن تحقيق تقييد للتدفق عن طريق وضع هدارات داخل الأحواض المجمعة، والرافعات في نهاية الخطوط الفرعية، الشكل رقم (١٨,٩)، أو لتقليل عمق

مفتاح الطفو عند نقطة الضخ، وهذه الطرق سوف تسمح بتدفق المصارف عندما يزداد ارتفاع منسوب الماء الأرضي فوق المستوى المطلوب (Ayars *et al.*, 2000).

إن الطرق التي تقيد التدفق تماماً تشمل وضع صمامات على خطوط الصرف أو عند غلق المضخات، وعندما يتم القيام بهذا يكون هناك حاجة لمراقبة موضع منسوب الماء الأرضي للتأكد من أنها لا تصبح ضحلة بشكل مؤذٍ، وهناك تطورات جديدة في هذا المجال تقدم أساليب للربط الإلكتروني الاستشعاري من خلال أجهزة مراقبة لارتفاع منسوب الماء الأرضي مع مضخة أو صمام للعمل على توفير نظام آلي، فجعل مثل هذه النظم تعمل آلياً يمكن أن يشمل أيضاً مراقبة المياه المستقبلة، والتحكم في تدفقات الصرف لتتوافق مع أي تقييدات أو شروط ترخيص. وعندما يكون التخلص من مياه الصرف مقيداً بأحواض التبخر فإنه يمكن تطوير النظام ليشمل مراقبة مستوى المياه في الحوض وتعديل تدفق الصرف على النحو المطلوب (Christen *et al.*, 2004).

وفيما يتعلق بإدارة نظام الصرف، من المهم التفكير في الموقف حيث يتم تصميم نظام الصرف وتركيبه كممارسة استصلاح في حالات المياه المالحة والتغدق بالمياه (مثل معظم نظم الصرف)، ثم يكون هناك حاجة لتطبيق الإدارة اللاحقة لنظام الصرف بمجرد أن تكتمل مرحلة الاستصلاح، عندما يتم القيام بغسيل الأملاح المخزونة من منطقة الجذور ويكون هناك حاجة لوجود أقل مستوى من الصرف للحفاظ على نسبة الملوحة في منطقة الجذور. وخلال مرحلة الاستصلاح هناك حاجة لوجود درجة عالية من الغسيل، ولكن، يجب أن يتم تجنب التدفق المباشر إلى المصارف من خلال التدفق المفضل عبر منطقة الخنادق حيث إن هذا يساهم بشكل يسير في عملية الغسيل ويهدر مياه الري. وقد وجد قريسمر Grismer (1990) أنه في تدفق خندق التربة الطينية الثقيلة التي تحدد تقريباً كل تدفق المصارف لمدة ٤٠ ساعة بعد الري، يؤدي إلى انخفاض ملوحة مياه الصرف. وقد وجد كريستن وسكهان Christen and Skehan (1999) أيضاً أن ملوحة تدفق المصارف التي هبطت بصورة كبيرة أثناء الري ما يوضح التدفق المفضل لمياه الري غير

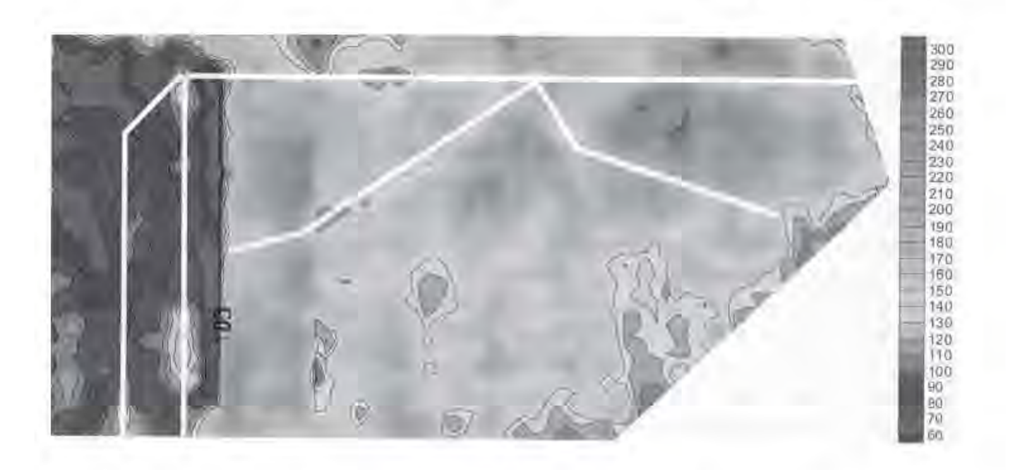
المالحة، الشكل رقم (١٨,١٣). وهذا يوضح أنه لمدة ٢٤ ساعة بعد الري فإن حوالي ٥٠٪ من مياه الصرف كانت مياه ري. ومنع هذا الخندق من التدفق أثناء الري يمكن القيام به عن طريق غلق المضخة أو سد (أو غلق) الصمام على المصارف. وعندما يتم القيام بهذا يمكن القيام بتوفير كميات ضخمة من المياه وحمل الأملاح. وهذا النوع من الإدارة يقبل التطبيق كذلك بعد القيام بالاستصلاح، للحفاظ على مياه الري.



الشكل رقم (١٨,١٣). تأثير الري على ملوحة مياه الصرف.

إن تحديد متى يجب القيام بتقليل الصرف المقرر من قبل يمكن معرفته بقياس ملوحة التربة باستخدام الجمع بين أخذ العينات من التربة وعمليات المسح الكهرومغناطيسي، ونادراً ما يكون استصلاح الصرف منتظماً، ويمكن أن يعمل المسح المكاني على توفير مؤشرات تتعلق بالمكان الذي يتطلب فيه مزيد من أعمال الصرف، ويمكن رؤية هذا في مثال من مزرعة مراع يتم ريها، ويوضح الشكل رقم (١٨,١٤) توزيع معامل التوصيل الكهربائي الظاهري للتربة (EC_a) التي يتم قياسها بعملية المسح EM38 بعد ثلاث سنوات من تركيب الصرف تحت السطحي، فالمنطقة الداكنة على

يسار المسح تم استصلاحها بشكل تام ويمكن أن يتم تقليل الصرف إلى مستوى الإدارة، وفي بقية المساحة حيث يتم تركيب المصارف نجد أن ملوحة التربة منخفضة، ولكن هناك بعض المناطق التي بها بقايا ملوحة عالية للتربة "نقاط ساخنة"، وهذه النقاط الساخنة من الممكن أن يتم الاهتمام بها من خلال عدة إجراءات مثل تركيب مزيد من المصارف، أو عمل الشقوق العميقة، أو إضافة الجبس. وهذه النتائج من الممكن أيضاً أن يتم استخدامها لبيان نوع الإدارة التي يجب تطبيقها على أجزاء مختلفة من الصرف اعتماداً على ملوحتها ووضع منسوب الماء الأرضي (Christen *et al.*, 2002).



الشكل رقم (١٨,١٤). مسح EM38 للمراعي المروية بعد ثلاث سنوات من تركيب نظام الصرف تحت السطحي والذي يوضح معامل التوصيل الكهربائي الظاهري للتربة (EC_a). الخطوط البيضاء هي أنابيب نظام الصرف تحت السطحي (Christen *et al.*, 2004).

(١٨,٥) توثيق تصميم وتركيب النظام

لقد تم وضع معايير للممارسة الهندسية لتصميم، وتركيب، وتشغيل نظم إدارة المياه الجوفية الضحلة لإنتاج المحاصيل الزراعية، وقد أصدرت الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين والبيولوجيين (ASABE، سابقاً ASAE) الممارسة الهندسية

479 (EP) التي تغطي التصميم، والتركيب، والتشغيل لنظام أنابيب الصرف تحت السطحي لكل من نظام الري التحتي والصرف المتحكم به في نظم إنتاج المحاصيل (مقاييس ASABE, 2006). وقد أصدرت الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) ممارسة قياسية لتركيب أنابيب من البلاستيك الحراري المموج للصرف الزراعي تحت سطح الأرض للتحكم في منسوب الماء الأرضي، وقد خصصت لجنة الاختبار والمواد ASTM لهذه الممارسة مسمى F-449 (ASTM, 2006). وقد تم أيضاً وضع ممارسة يوصى باستخدامها لتصميم وتركيب المصارف تحت السطحية للتحكم في منسوب الماء الأرضي من خلال هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية (NRCS, 2006).

ويحتاج التصميم النهائي لنظام إدارة منسوب الماء الأرضي إلى أن يتم توثيقه بصورة كافية من خلال المهندس أو المصمم لوضع المراجع لاستخدام المزارعين والمقاولين كي يقوموا بشكل سليم بإعداد الموقع وتركيب مكونات النظام. ويجب أن يشمل التوثيق خطة تخطيط شاملة توضح مواقع وأعماق كل أنابيب المصارف وأبنية التحكم، وقائمة بكل المواد ومكونات المعدات اللازمة لتركيب النظام، وطرق التركيب والمعدات الموصى بها أو المقبولة، وقائمة بممارسات التركيب التي يمكن تطبيقها ومواصفات أو مقاييس المواد، وخطوطاً إرشادية تفصيلية وخطة لتشغيل النظام. وإذا كان نظام إدارة منسوب الماء الأرضي هو عبارة عن تحديث لنظام صرف تحت سطحي قائم، فإن التوثيق يجب أن يحدد كلا من المكونات الموجودة سابقاً والجديدة، وعلاوة على هذا، يُنصح بأن يشمل التوثيق التقييم الاقتصادي النهائي لتصميم النظام الموصى به. ويجب أن يتم تعديل التوثيق عند الحاجة (عن طريق المهندس، أو المزارع، أو المقاول) لعكس تصميم النظام كما تم تركيبه.

ومن المستحسن أن يتم الاحتفاظ بتوثيق النظم المركبة حديثاً في سجل دائم مع وثائق الملكية الأخرى لاستخدامها عند الحاجة. وربما يود المقاولون أن يحتفظوا بنسخة من وثيقة التركيب لاحتمال الرجوع إليها مستقبلاً، مثلاً، لأعمال الصيانة أو

الإصلاحات، وإذا تم تأجير أو بيع الأرض، أو تغيير الاستخدام، فإن مثل هذا التوثيق يجب أن يتم تقديمه للمالك أو المستأجر الجديد للأرض.

(١٨,٦) ملخص

يتم تصميم وتركيب نظم إدارة المياه الزراعية من أجل (١) تحسين إنتاج المحاصيل عن طريق التحكم في فترات النقص والزيادة في مياه التربة في منطقة الجذور، و(٢) تحسين جودة المياه الناتجة من تفريغ المصرف عن طريق التحكم في تدفقات الصرف لتقليل فواقد الكيماويات الزراعية من الأرضي الزراعية، وإن وضع تصميم متكامل لنظام التحكم في منسوب الماء الأرضي يشمل تحديد مدى ملاءمة الموقع، وعمق والمسافة بين المصارف المطلوبة، وإعداد خطة تركيب النظام في الحقل، واختيار و/أو تصميم نظام تشغيل في الصرف المتحكم به وأنماط الري التحتي. ويجب أن يسمح تصميم النظام بالتحكم في عمق منسوب الماء الأرضي في قطاع التربة عبر المدى اللازم لممارسات الزراعة التي يجب اتباعها والمحاصيل التي يراد زراعتها، والمتطلبات التشغيلية للعمل على تقليل فواقد الكيماويات الزراعية. وهذه الأهداف يجب أيضاً أن تتضمن الاستخدام الفعال للمياه الجوفية الضحلة التي يتم إمدادها من خلال سقوط المطر الطبيعي أو من خلال الري.

وهناك العديد من الطرق الجديدة المتاحة الآن لتحديد عمق والمسافة بين المصارف التصميم الأمثل لإدارة منسوب الماء الأرضي، فتشغيل النظام، أي، ما إذا كان هذا نظاماً تحت سطحي تقليدياً، أو صرفاً متحكماً به، أو نمط ري تحت سطحي، يختلف من يوم لآخر ومن عام لآخر. وفي معظم المواقع، ليس من الواضح ما إذا كانت الاحتياجات الأكبر في تصميم النظام هو ما إذا كان من خلال توفير إدارة صرف جيدة في ظل ظروف منسوب الماء الأرضي الضحلة، أو توفير ري تحت سطحي كاف خلال أكثر الفترات جفافاً. وبسبب عوامل تعقيد التصميم هذه، يُنصح بأن يتم استخدام

نموذج محاكاة لإجراء تحليل شامل وتصميم نهائي لإدارة مياه الصرف أو نظام التحكم في منسوب الماء الأرضي، وللتنبؤ بأداء النظام عبر فترة من ٢٠ إلى ٣٠ عاماً بالنسبة للأحوال المناخية في موقع بعينه.

ويمكن استخدام نماذج المحاكاة باستخدام الحاسب الآلي مثل DRAINMOD لتقييم خيارات تصميم النظام العديدة لموقع بعينه. ويمكن أن تعمل عملية محاكاة طويلة المدى (٢٠ إلى ٣٠ عاماً) على توفير تقييم جيد للأداء المتوقع لنظام إدارة منسوب مياه ما. ويشمل نموذج DRAINMOD-NII نظاماً للقيام بالتقييم الشامل لتأثير النظام والمعاملات التشغيلية على نقل الأشكال المختلفة من النيتروجين داخل قطاع التربة والفواقد في الجريان السطحي والتدفق تحت السطحي، وهذا الإصدار الجديد لنموذج DRAINMOD يعد أداة هامة لتصميم نظم إدارة مياه الصرف، إلى جانب خطة التشغيل الموسمية، لتلبية متطلبات جودة مياه التربة الناتجة. ويسمح برنامج الحاسب SI-DESIGN للمصممين أن يقوموا بحساب سقوط المطر للنظام وتقييم المسافة بين المصارف تحت السطحية وبدائل حجم الأنابيب المجمعة الرئيسة، ويعمل هذا البرنامج أيضاً على توفير السبل لتقدير تكلفة النظام، وإجراء تحليل اقتصادي للفائدة المحتملة من تشغيل النظام، وتقدير كفاءة الإنتاج الحيوي لنظام إدارة المياه.

وإن تصميم نظام إدارة منسوب الماء الأرضي الذي يؤدي إلى صافي الفائدة الأمثل، وفي نفس الوقت تقليل التأثيرات البيئية خارج الموقع، يجب أن يكون أفضل إستراتيجية تصميم وإدارة يُنصح بها المزارع. ومن الممكن أن يكون النظام مجدياً من الناحية الفنية، ولكن القرار الأخير يجب أن يكون قائماً على جدوى النظام ليس فقط من ناحية تغطية تكاليفه وإنما لإرجاع عائد إلى المزارع مقابل استثماره، وفي نفس الوقت العمل على تقليل التأثيرات البيئية خارج الموقع. وبالتالي، من المهم جداً أن يكون القرار الأخير لتصميم ما قائماً على التقييم الشامل للآثار الاقتصادية والبيئية.

المراجع

ADMS-TF. 2005. Agricultural Drainage Management Systems Task Force web site, http://extension.osu.edu/ ~usdasdru/ ADMS/ ADMSindex.htm.

ASAE. 1990. EP479: Design, installation and operation of water table management systems for subirrigation/controlled drainage in humid regions. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASTM. 2006. F-449: Subsurface installation of corrugated polyethylene pipe for agricultural drainage or water table control. West Conshohocken, Pa.: American Society for Testing Materials.

Ayars, J. E. 1996. Managing irrigation and drainage systems in arid areas in the presence of shallow groundwater:case studies. Irrig. Drain. Systems 10: 227-244.

Ayars, J. E., and R. A. Schoneman. 1984. Managing irrigation in areas with a water table. In Water Today and Tomorrow, Proc. Spec. Conf Irrig. and Drain. Div., ASCE, 528-536. J. A. Replogle, and K. G. Renard, eds. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Ayars, J. E., and D. B. McWhorter. 1985. Incorporating crop water use in drainage design in arid areas. In Proc. Spec. Conf. Irrig. and Drain. Div., ASCE, 380-389. C. G. Keyes, and T. J. Ward, eds. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Ayars, J. E., and R. B. Hutmacher. 1994. Crop coefficients for irrigation cotton in the presence of groundwater. Irrig. Sci. 15 (1): 45-52.

Ayars, J. E., R. B. Hutmcaher, R. A. Schoneman, R. W O. Soppe, S. S. Vail, and F. Dale. 2000. Realizing the potential of intetgrated irrigation and drainage water management for meeting crop water requirements in semi-arid and arid areas. Irrig. Drain. Systems 13: 321-347.

Ayars, J. E., E. W Christen, R. W Soppe, and W. Meyer. 2006. Resource potential of shallow ground for crop water use: A review. Irrig. Sci. 24: 147-160.

Belcher, H. W., and B. W. Fehr. 1990. Performance of a subirrigation automation system. ASAE Paper No. 90-2607. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Belcher, H. W., and F M. D'Itri, eds. 1995. Subirrigation and Controlled Drainage. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers.

Belcher, H. W., G. E. Merva, and W. H. Shayya. 1993. SI-DESIGN: A simulation model to assist with the design of subirrigation systems. In 15th Int'l. Cong. of ICID Workshop on Subsurface Drainage Models, 295-308. The Hague, Netherlands: ICID-CUD, CEMAGREF

Bengtson, R. L., C. E. Carter, H. F. Morris, and S. A. Bartkiewicz. 1988. The influence of subsurface drainage practices on nitrogen and phosphorus losses in a warm, humid climate. Trans. ASAE 31: 729-733.

Bengtson, R. L., C. E. Carter, J. L. Fouss, L. M. Southwick, and G. H. Willis. 1995. Special Issue: Water Quality in Humid Regions. Agricultural drainage and water quality in Mississippi Delta. J. Irrig. Drain. Eng. 121(4): 292-295.

Borg, H., and D. W. Grimes. 1986. Depth development of roots with time: An empirical description. Trans. ASAE 29: 194-197

Bottcher, R., T. Steenhuis, and M. Walter. 1984. SUBDRAIN: An interactive, colorgraphics subsurface tile drainage design program. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension Report. Ithaca, N.Y.:Cornell Univ.

Bucks, D. A. 2004. A new agenda for management of agriculturally drained lands. In Proc. Eighth Int'l. ASAE Drainage Symp. R. A. Cooke, ed. St, Joseph, Mich.: ASAE.

Burnham, J., and H. W Belcher, Jr. 1985. Laser surveying for water management system design. ASAE Paper No. 85-2559. St, Joseph, Mich.: ASAE.

Carter, C. E., J. L. Fouss, and V McDaniel. 1988. Water management increases sugarcane yields. Trans. ASAE 31(2): 503-507.

Christen, E. W., and D. Skehan. 1999. Design and management of subsurface drainage for improved water quality: A field trial. CSIRO Land and Water Technical Report 6/99. Griffith, NSW, Australia: CSIRO Land and Water, Griffith.

Christen, E. W., J. E. Ayars, and J. W Hornbuckle. 2001. Subsurface drainage design and management in irrigated areas of Australia. J. Irrig. Sci. 21: 35-43.

Christen, E. W., and D. Skehan. 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. J. Irrig. Drain. Eng. 127(3): 148-155.

Christen, E. W., and 1. E. Ayars. 2001. Subsurface drainage system design and management in irrigated agriculture: Best management practices for reducing drainage volume and salt load. Tech. Report 38-01. Griffith, NSW, Australia. CSIRO Land and Water. Available at: www.clw.csiro.au/ publications/technical 2001/ tr3801. pdf.

Christen, E. W., J. W. Hornbuckle, and S. Herath. 2002. Management options to reduce salt loads from tile drainage in the Campaspe West District. Tech. Report XX/02. Griffith, NSW, Australia: CSIRO Land and Water.

Christen, E. W., Hornbuckle, lW., and R. Zandonna. 2003. Automated subsurface drainage management system to reduce costs and downstream environmental impact. In Engineering Salinity Solutions 2004, Proc. 1st National Salinity Engineering Conference, 194- 199. S. Dogramaci and A. Waterhouse, eds. Engineers Australia.

Christen, E.W., Hornbuckle, J.W., and J.E. Ayars. 2004. A methodology to assess the performance of subsurface drainage salinity control. In Engineering Salinity Solutions 2004, S. Dogramaci and A. Waterhouse, eds. Proc. 1st National Salinity Engineering Conference, 21-25. Engineers Australia.

Dedrick, A. R., L. J. Erie, and A. J. Clemmens. 1982. Level-basin irrigation. In Advances in Irrigation, 1: 105-145. D. Hillel, ed. New York, N.Y.: Academic Press.

Deverel, S. J., and J. L. Fio. 1990. Ground-water flow and solute movement to drain laterals, western San Joaquin Valley, California I: Geochemical assessment. Open file Report 90-136. Sacramento, Calif.: U.S. Geological Survey.

Doering, E. J., L. C. Benz, and G. A. Reichman. 1982. Shallow-water-table concept for drainage design in semiarid and subhumid regions. In Advances in Drainage, Proc. of the Fourth National Drainage Symposium, 34-41 St Joseph, Mich.: ASAE.

Doty, C. W., J. E. Parsons, A. Nassehzadeh- Tabrizi, R. W Skaggs, and A. W. Badr. 1984. Stream water levels affect field water tables and corn yields. Trans. ASAE 27(5): 1300-1306.

Doty, C. W., J. E. Parsons, and R. W Skaggs. 1987. Irrigation water supplied by stream water level control. Trans. ASAE 30 (4): 1065-1070.

Ernst, L. F 1975. Formulae for groundwater flow in areas with subirrigation by means of open conduits with a raised water level. Misc. Reprint 178, 55-84. Rome, Italy: Institute for Land and Water Development Division, FAO.

Evans, R. O., and R. W. Skaggs. 1989. Design guidelines for water table management systems on coastal plain soils. Applied Eng. in Agric. 5(4): 539-548.

Evans, R. O., R. E. Sneed, and R. W. Skaggs. 1988a. Water supplies for subirrigation. AG-389. Raleigh, N.C.: North Carolina Agricultural Extension Service.

Evans, R. O., R. W. Skaggs, and R. E. Sneed. 1988b. Economic evaluation of controlled drainage and subirrigation systems. Ag-397. Raleigh, N.C.: North Carolina Agricultural Extension Service.

Evans, R. O., R. W Skaggs, and R. E. Sneed. 1990a. Normalized crop susceptibility factors for corn and soybeans to excess water stress. Trans. ASAE 33(4): 1153-1161.

Evans, R. O., J. W. Gilliam, and R. W Skaggs. 1990b. Controlled drainage and subirrigation effects on drainage water quality. Proc. Fourteenth Intl.l Congo on Irrigation and Drainage, ICID. 1A(Q42): 13-20.

Evans, R. O., J. W Gilliam, and R. W Skaggs. 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. Irrig. Drain. Division, ASCE 121(4):271-276.

Feddes, R. A., P J. Kowalik, and H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yield. PUDOC, Wageningen: Simulation Monographs.

Fausey, N. R., K. W. King, B. J. Baker, and R. L. Cooper. 2004. Controlled drainge performance on Hoytville soil in Ohio. In Drainage VIII: Proc. Eighth Int'l. Drainage Symp., 84-88. R. Cook, ed. St, Joseph, Mich.: ASAE.

Fouss, J. L. 1985. Simulated feedback-operation of controlled-drainage/subirrigation systems. Trans. ASAE 28(3): 839-847.

Fouss, J. L., and G. H. Willis. 1990. Research need on integrated system for water and pest management to protect groundwater quality. In Proc. of the 1990 Conference IR Div., 288-296. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Fouss, J. L., and J. S. Rogers. 1992. Drain outlet water level control: A simulation model. In Proc. Sixth Int'l. Drainage Symp, Drainage and Water Table Control, 46-61. St, Joseph, Mich.: ASAE.

Fouss, J. L., and G. H. Willis. 1994. Integrated water-fertilizer-pesticide management for environmentally sound crop production. In Proc. Univ. Florida Second Conf Environmentally Sound Agriculture, 53-61. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Fouss, J. L., and J. S. Rogers. 1998. Justification of automated water table control systems. In Proc. 7th Int'l. Drainage Symposium, Drainage in the 21st Century: Food Production and the Environment, 400-412. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Fouss, J. L., and T. W. Appelboom. 2006. Combination of drainage water management, cover cropping, and wetland diversion, as a suite of BMPs to reduce nitrogen loss from cropland. In Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns. Proceedings of the ASCE-EWRI 2006 World Environmental and Water Resources Congress, Session on Drainage BMPs for Nitrogen Management Randall Graham, ed. CD-ROM.

Fouss, J. L., R. L. Bengtson, and C. E. Carter. 1987a. Simulating subsurface drainage in the lower Mississippi valley with DRAINMOD. Trans. ASAE 30 (6): 1679-1688.

Fouss, J. L., R. W. Skaggs, and J. S. Rogers. 1987b. Two-stage weir control of subsurface drainage for water table management. Trans. ASAE 30 (6): 1713-1719.

Fauss, J. L., J. S. Rogers, C. E. Carter. 1989. Sump-controlled water table management predicted with DRAINMOD. Trans. ASAE 32(4): 1303-1308.

Fouss, J. L., R. W. Skaggs, J. E. Ayars, and H. W Belcher. 1990. Water table control and shallow groundwater utilization. In Management of Farm Irrigation Systems, 783-824. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Fouss, J. L., J. S. Rogers, G. H. Willis, L. M. Southwick, and C. E. Carter. 1995. Automated water table control/data acquisition for water quality research. In Clean Water-Clean Environment-21st Century, 101-104. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Fauss, J. L., R. O. Evans, D. L. Thomas, and H. W Belcher. 1999. Operation of controlled-drainage and subirrigation facilities for water table management. In Agricultural Drainage. 743-766. R. W Skaggs, and J. van Schilfgaarde, eds. Agron. Monog. 38. Madison, Wis.: ASA, CSSA, and SSSA.

Fouss, J. L., D. A. Bucks, and B. C. Grigg. 2004. The agricultural drainage management systems task force: Decreasing nutrient export through the Mississippi River drainage basin. In Total Maximum Daily Load (TMDL) Environmental Regulations IL Conference Proc. A. Saleh, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Gayle, G., R. W. Skaggs, and C. E. Carter. 1985. Evaluation of a water management model for a Louisiana sugar cane field. J. American Soc. of Sugar Cane Technologists 4: 18-28.

Gayle, G. A., R. W. Skaggs, and C. E. Carter. 1987. Effects of excess soil water conditions on sugarcane yields. Trans. ASAE 30(4): 993-997.

Gilliam, J. W 1987. Drainage water quality and the environment. Proc. Fifth Nat'l. Drainage Symp. ASAE, St. Joseph, Mich. pp. 19-28.

Gilliam, J. W., J. L. Baker, and K. R. Reddy. 1999. Chapter 24: Water quality effects of drainage in humid regions. In Agricultural Drainage, 801-830. R.W. Skaggs and J. van Schilfgaarde, eds. Madison, Wisc,: Crop Sci. Soc. America, Soil Sci. Soc. America, and American Soc. Agronomy.

Gilliam, J. W., and R. W. Skaggs. 1985. Use of drainage control to minimize potential detrimental effects of improved drainage systems. In Development and Management Aspects of Irrigation and Drainage Systems, 352-362. New York, N. Y.: American Soc. Civil Engineers.

Gilliam, J. W., and R. W Skaggs. 1986. Controlled agricultural drainage to maintain water quality. J. Irrig. Drain. Eng. 112: 254-263.

Gilliam, J. W., R. W Skaggs, and S. B. Weed. 1979. Drainage control to reduce nitrate losses from agricultural fields. J. Environ. Qual. 8(1): 137-142.

Grandia, C. 2002. Pioneering GPS for site prep (Trimble). Midwest Contractor, August 26, 2002, 6 pp.

Grismer, M. E. 1990. Subsurface drainage system design and drain water quality. I.Irrig. Drain. Eng. 119: 537-543.

Hardjoamidjojo, S., R. W Skaggs, and G. O. Schwab. 1982. Predicting corn yield response to excessive soil water conditions. Trans ASAE 25(4): 922-927, 934.

Herczeg, A. L., S. S. Dogramaci, and F W. Leaney. 2001. Origin and evolution of solutes in a large semi-arid, regional multi-aquifer system: Murray basin, for Australia. Marine Freshwater Res. 52: 41-52.

Hoffman, G. J. 1990. Leaching fraction and root zone salinity control. In Agricultural Salinity Assessment and Management, 237-261. K. K. Tanji, ed. New York, NY.: American Soc. Civil Engineers.

Hornbuckle, J. W., and E. W. Christen. 1999. Physical properties of soils in the Murrumbidgee and Coleambally irrigation areas. CSIRO Land and Water Technical report 17/99. Griffith, Australia: CSIRO Land and Water.

Howell, T. A., J. L. Hatfield, J. D. Rhoades, and M. Meron, 1984. Response of cotton water stress indicators to soil salinity. Irrig. Sci. 5: 25-36.

Kendrick-Peabody, E. 2004. Success stories in agriculture: Researchers Fauss and Fausey develop laser grade-control system that transforms drainage and irrigation technology; News CAST Vol. 31(1): 15-18. Washington, D.C.: Council for Agricultural Science and Technology, www.cast-science.org/cast/src/cast_top.htm.

Kite, S. W., and B. R. Hanson. 1984. Irrigation scheduling under saline high water tables. California Agric. 38: 12-14.

Ladaney-Bell, J. R. W., and R. L. Acworth 2002. Salinisation processes in the irrigation environment riverine plain, Murray Darling Basin. In Irrigation Australia 2002 conference, Irrigation: Conservation or Conflict? Sydney, Australia: Irrigation Association of Australia, Sydney.

Logan, T. J., G. W Randall, and D. R. Timmons. 1980. Nutrient content of tile drainage from cropland in the North Central Region. North Central Res. Bull. No. 268. Wooster, Ohio.

Lord, J. M. 1987. Phase II: Study of innovative techniques to reduce subsurface drainage flows. Sacramento, Calif.: San Joaquin Valley Drainage Program, U.S. Bureau of Reclamation.

Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977 Crop salt tolerance-current assessment. Irrig. Drain. Division, ASCE 103: 115-134.

Munster, C. L., R. W Skaggs, J. E. Parsons, R. O. Evans, J. W. Gilliam, and M. A. Breve. 1994. Simulating aldicarb transport in a drained field. Trans. ASAE 37(6): 1817-1824.

Nolte, B. L., R. L. Burris, C. J. W. Drablos, N. R. Fausey, L. R. Massie, S. W Melvin, G. E. Merva, T. J. Olscheske, J. F Rice, G. O. Schwab, R. D. Wenberg, and R. Z. Wheaton. 1986. DRAINMOD: Documentation for the water management simulation model. NCCI Software J. 2 (1): June 1986.

Northey, J., E. W Christen, J. E. Ayars, and J. Jankowski. 2006. Occurrence and measurement of salinity stratification in the shallow groundwater in the Murrumbidgee Irrigation Area, south-eastern Australia. Ag. Water Mgmt. 81: 23-40.

NRCS (Natural Resources Conservation Service, USDA). 2006. Recommended practice for the design and installation of subsurface drains for water table control. NRCS, USDA; Section IV, FOTG, Code 606, Subsurface Drain.

NRCS (Natural Resources Conservation Service, USDA). 1994. DRAINMOD Users Guide. Washington, D.C.: USDA, NRCS.

Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, and W. J. Wiseman, Jr. 1999. Characterization of hypoxia: Topic 1 report for the integrated assessment on hypoxia in the Gulf of Mexico. Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 15. Silver Spring, Md.: NOAA Coastal Ocean Program.

Rabalais, N. N., R. E. Turner, and D. Scavia. 2002. Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. BioScience 52 (2): 129-142.

Rogers, J. S. 1985. Water management model evaluation for shallow sandy soils. Trans. ASAE 28(3): 785-790, 794.

Rogers, J. S., and J. L. Fouss. 1989. Hydraulic conductivity determination from vertical and horizontal drains in layered soil profiles. Trans. ASAE 32(2): 589-595.

Rogers, J. S., H. M. Selim, C. E. Carter, and J. L. Fouss. 1991. Variability of auger hole hydraulic conductivity values for a Commerce silt loam. Trans. ASAE 34 (4): 876-882.

Sands, G. R., and R. J. Gaddis. 1985. LANDRAIN: A computer-aided-design (CAD) program for subsurface drainage systems. ASAE Paper No. 85-2556. St. Joseph, Mich.: ASAE .

Schneider, J. D., and J. M. Garbrecht. 2006. Dependability and effectiveness of seasonal forecasts for agricultural applications. Trans. ASABE 49 (6): 1737-1753.

Shalhevet, J. 1994. Using water of marginal quality for crop production: Major issues. Agric. Water Mgmt. 25: 233-269.

Skaggs, R. W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Report No. 134. Chapel Hill, N.C.: Water Resources Research Institute, Univ. North Carolina.

Skaggs, R. W 1980. Drainmod reference report: Methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables. Ft. Worth, Tex.; USDA-SCS, Nat'l. Technical Ctr.

Skaggs, R. W 1981. Water movement factors important to the design and operation of subirrigation systems. Trans. ASAE 24(6): 1553-1561.

Skaggs, R. W. 1982. Field evaluation of a water management simulation model. Trans. ASAE 25(3): 666-674.

Skaggs, R. W., and J. W. Gilliam. 1981. Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. Trans. ASAE 24(4): 929-934.

Skaggs, R. W., and A. Tabrizi. 1983. Optimum drainage for com production. Tech. Bulletin 274. Raleigh, N.C.: North Carolina Agricultural Research Service.

Skaggs, R. W., and A. N. Tabrizi. 1986. Design drainage rates for estimating drain spacings in North Carolina. Trans. ASAE 29(6): 1631-1640.

Skaggs, R. W., N. R. Fausey, and B. H. Nolte. 1981. Water management model evaluation for North Central Ohio. Trans. ASAE 24(4): 922-928.

Tabrizi, A. N., and R. W Skaggs. 1983. Variation of saturated hydraulic conductivity within a soil series. ASAE Paper No. 83-2044. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Thomas, D. L., R. R. Lowrance, and M. C. Smith. 1991. Drainage-subirrigation effect on water quality in Georgia Flatwoods. J. Irrig. Drain. Eng. 117(1): 126-137.

Thomas, D. L., P G. Hunt, and J. W. Gilliam. 1992. Water table management for water quality improvement. J. Soil Water Cons. 47(1): 65-70.

U.S. Department of Interior. 1993. Drainage manual. Denver, Colo.: U.S. Department of Interior.

Walker, W R., G. V Skogerboe, and R. G. Evans. 1979. Reducing salt pickup from irrigated lands. J. Irrig. Drain. Eng. 105: 1-14.

Welch, B. 2002. 3-D systems save prep time (Trimble). Construction News, August 19, 2002: 4 pp.

Willis, G. H., J. L. Fouss, J. S. Rogers, C. E. Carter, and L. M. Southwick. 1991. Chapt. 11: System design for evaluation and control of agrochemical movement in soils above shallow water tables. In Groundwater Residue Sampling Design, 195-211. ACS Symposium Series 465. Washington, D.C.: ACS.

Youssef, M. A., R. W Skaggs, G. M. Chescheir, and J. W. Gilliam. 2005. The nitrogen simulation model, DRAINMOD-NII. Trans. ASAE 48(2): 611-626.

الفصل التاسع عشر

الري الكيميائي

تيد و. فان دير جيليك (وزارة الزراعة والأراضي بإقليم
كولومبيا البريطانية – مدينة أبوتسفورد – ولاية كولومبيا البريطانية)
روبرت ج. إيفانز (وحدة خدمة البحوث الزراعية – وزارة الزراعة الامريكية – مدينة سيدني ولاية مونتانا)
ديان أ. إيزينهاير (جامعة نبراسكا – مدينة لينكولن – ولاية نبراسكا)

ملخص: إن عملية الري الكيميائي (إضافة الكيماويات أثناء الري) هي عملية تطبيق المواد الكيماوية المتوافقة مع الماء باستخدام نظام الري من أجل التسميد (التخصيب) أو مكافحة آفات المحاصيل، أو من أجل صيانة نظام الري. وعملية الري الكيميائي، بكافة أشكالها، يشيع استخدامها في الزراعة بالري عبر أرجاء العالم، ويمكن لاستخدامها أن يؤثر كثيرا في تصميم وتشغيل نظم الري الحقلي. ولابد لاستخدامها من أن يتبع متطلبات تنظيمية، وأن يتم وفقا لأنواع المواد الكيماوية المستخدمة. ومن المخاوف الرئيسة المرتبطة بعملية الري الكيميائي مشكلة السلامة، فيما يخص وقاية الأفراد، ومياه الري، والبيئة المحيطة. وهناك طرق متعددة لتطبيق استخدام مختلف أنواع المواد الكيماوية اعتمادا على الحجوم، وعلى مدى الدقة المطلوبة في عملية الحقن. ولابد من أن تتم معايرة (أي ضبط) هذه النظم بعناية، واستخدامها بحذر شديد.

الكلمات الأساسية: المواد الكيماوية، وقاية المحاصيل، الأسمدة، الريّ، السلامة، النظم.

(١٩,١) مقدمة

(١٩,١,١) التعريف

إن عملية الري الكيميائي هي عملية تطبيق مختلف المواد الكيماوية على المحصول من خلال نظام الري. وفي العمليات الزراعية نجد أن نوع المواد الكيماوية المستخدمة قد يكون الأسمدة، أو مبيدات الآفات أو الحشرات أو الفطريات أو الحشائش أو الديدان الخيطية، ومنظمات النمو (Rolston *et al.*, 1986; Bar-Yosef, 1999). وعلى كل الأحوال، نجد أن عملية حقن الأسمدة القابلة للذوبان في الماء هي الشكل الأكثر شيوعاً بين أشكال عملية الري الكيميائي (Wright *et al.*, 1992; van der Gulik, 1993; Burt *et al.*, 1995; Scherer *et al.*, 1999). واعتماداً على كل من الاستخدام والمستخدم، يشار إلى الأشكال المتنوعة من عملية الري الكيميائي بأسماء متنوعة مثل: "عملية الرسمدة (التسميد أثناء الري)"، و"عملية إضافة مبيدات الآفات أثناء الري"، و"عملية إضافة المبيدات الحشرية أثناء الري"، و"عملية إضافة مبيدات الفطريات أثناء الري"، و"عملية إضافة مبيدات الحشائش أثناء الري"، و"عملية اضافة مبيدات الديدان الخيطية أثناء الري"، وذلك على سبيل المثال لا الحصر.

كذلك قد يتم حقن المواد الكيماوية إلى داخل نظام الري من أجل أغراض الصيانة، مثل مبيدات الطحالب، والكلور في نظم الري الدقيق (Evans and Waller, 2007). والفصل السابع عشر يقدم تفاصيل نوعية محددة حول صيانة نظم الريّ الدقيق بالمعالجات الكيماوية.

وتم أخذ عملية الري الكيميائي في الحسبان وربما كذلك تمت ممارستها منذ أن تم استخدام الرشاشات لأول مرة في المزارع في أوائل القرن العشرين. وإحدى أولى المناقشات الدائرة حول عملية الري الكيميائي في البحوث قد كتبها كل من بريان وتوهامس Bryan and Thomas in (1958)، أما دراسة زرادجيل Threadgill (1985)

فقد أجرت استطلاعاً حول استخدام عملية الري الكيميائي في ٣٥ ولاية في عام ١٩٨٣ ووجدت أن حوالي ٤,٣ مليون هكتار في الولايات المتحدة الأمريكية كانت تستخدم عملية الري الكيميائي على الأقل مرة واحدة أثناء الموسم. وقد ورد في الإحصاء الزراعي لعام ١٩٩٨ (NASS,1998) أن حوالي ٤ مليون هكتار كان يتم فيها استخدام عملية الري الكيميائي في أكثر من ٣٥ ألف مزرعة عبر الولايات المتحدة الأمريكية في ذلك الوقت. ومن المنتظر لاستخدام عملية الري الكيميائي أن يزداد مع ازدياد تحول المنتجين لاستخدام نظم الري المتطلبة للضغط، بسبب ما توفره من راحة، وخفض في تكاليف التطبيق عن الطرق الأكثر تقليدية لتطبيق المواد الكيماوية. وبالإضافة إلى ذلك، من المتوقع أن التأكيد الحالي على اصباغ أساليب الري بالدقة سوف يعمل على تسريع وتيرة نمو عملية الري الكيميائي في المستقبل القريب.

وتطبيق استخدام المواد الكيماوية هو أمر شائع تماماً مع معظم نظم الري بالتنقيط، وهناك نسبة كبيرة من نظم الري بالرش، تستخدم هذه التقنية. وتستخدم عملية الري الكيميائي بشكل محدود في الأراضي ذات الري السطحي. وكل من نظم الريّ الدقيق، ونظم الري المحوري، تلائم استخدام عملية الري الكيميائي بشكل جيد بسبب انتظامية توزيعها العالية، وسهولة تشغيلها (Rolston *et al.*, 1986; Threadgill *et al.*, 1990; van der Gulik and Evans, 2006; Evans and Waller, 2007).

وقبل استخدام المشغل للري الكيميائي لابد له من أن يفهم اللوائح الفيدرالية والمحلية ذات الصلة، وأن يفهم مسائل السلامة، وتدابير الوقاية البيئية الواجب اتباعها، وأن يكون لديه معرفة بكل من تشغيل نظام الري والمواد الكيماوية المفترض استخدامها، وأن يكون قادرا على تحديد توقيت ملائم ومعدل حقن ملائم للمنطقة محل المعالجة، والمحصول المزروع، وأن يضمن أن نظام الري يتم غسله بالدفق بشكل مناسب بعد اكتمال عملية الري الكيميائي (van der Gulik 1993; Burt *et al.*, 1995; Evans and Waller, 2007).

(١٩,١,٢) المميزات

إن استخدام عملية الري الكيميائي مع نظم الري أظهرت نموا مطرداً. واشتملت المنافع على:

- انخفاض العمالة وتكلفة تطبيق المواد الكيماوية.
- دمج وتنشيط الأسمدة مع المحاصيل المزروعة بنظم الري بالتنقيط في المناطق المناخية الجافة.
- تطبيق المواد الكيماوية في الوقت المناسب.
- التقليل من انضغاط التربة والتلف الميكانيكي للمحصول (التلف الناتج عن استخدام المركبات الميكانيكية).
- تحسين سلامة العامل أثناء تطبيق مبيدات الآفات.
- انخفاض كمية المواد الكيماوية المستخدمة.
- الخفض المحتمل في التلوث البيئي.
- تحسين إنتاجية المحاصيل.

وفوائد عملية الري الكيميائي تأتي مصحوبة بتكلفة إضافية واحتياطات وقائية زائدة. فمعدات منع التدفقات المرتدة، وغيرها من معدات السلامة الأخرى، والحاقنات، سوف تزيد جميعها من تكلفة النظام. ولابد من رفع انتظامية التوزيع في نظام الري إلى الحد الأقصى وذلك لضمان أفضل انتظامية ممكنة لتوزيع المواد الكيماوية. ولضمان التشغيل الملائم للنظام لابد من ضبط الحاقنات. ولابد من تقليل انجراف الري إلى الحد الأدنى، ولابد من التحكم في كل نظم الري للسيطرة على الإضافة المفرطة أو المنقوصة للمواد الكيماوية.

واستخدام نظم الري الدقيق، وعملية الرسمدة (التسميد أثناء الري)، سيزداد نمواً نتيجة للمنافع الكثيرة التى تقدمها هذه التقنية. فكفاءات التطبيق الأفضل تطرح خفضاً في مقدار السماد المستخدم. كما أن عملية الرسمدة تطرح إمكانية التطبيقات

في الوقت المناسب وبالمقادير الملائمة من الأسمدة وهو ما سينتج عنه تأثير أقل على البيئة المحيطة.

والتوزيع الملائم للأسمدة يطرح الحد الأدنى من المخاوف الصحية، والحد الأدنى من مخاطر تلوث مصادر المياه. وعلى كل الأحوال، فإن إمكانية تطبيق مواد كيماوية أخرى ينظر إليه على أنه مخاطرة أكبر. والتلوث المحتمل لمصدر الماء نتيجة للسحب الارتدادي، والضغط الارتدادي هو أمر محتمل إذا حدث إغلاق غير متوقع لنظام الري بينما تجري عملية الحقن. ويمكن تقليل هذه المخاطرة من خلال اتباع ممارسات جيدة لعملية الري الكيميائي وإذا أمكن يتم تركيب أجهزة ملائمة لمنع التدفقات المرتدة، مع فحصها بشكل دوري.

(١٩,٢) السلامة ومنع التدفقات المرتدة

(١٩,٢,١) لماذا تُعَدّ عملية الري الكيميائي خطراً محتملاً

إن عملية الري الكيميائي تعتبر خطراً محتملاً إن كانت هناك أية وصلة تقاطعية محتملة بين خزان المواد الكيماوية ومصدر الماء الصالح للشرب. والوصلة التقاطعية هي أية وصلة أو ترتيب هيكلي فيما بين نظام الماء الصالح للشرب، وأي نظام لماء غير صالح للشرب، أو أي مصدر للمواد الكيماوية، يمكن من خلاله للتدفقات المرتدة أن تظهر. ويمكن للوصلة التقاطعية أن تكون وصلة إلى خط الأنابيب الرئيس لمصدر المياه، أو إلى جدول أو بحيرة مصدر المياه، أو إلى المياه الجوفية المستخدمة كمصدر للماء الصالح للشرب. ومن ثم فإن حقن المواد الكيماوية داخل نظام الري يطرح خطراً محتملاً على السلامة والصحة العامة، مما يتطلب تدابير سلامة معتمدة.

وسوف تعتمد أدوات السلامة المطلوبة على القوانين الفيدرالية والمحلية، وعلى المعلومات المتوافرة على بطاقة العلامة التجارية للمواد الكيماوية. فبعض بطاقات العلامات التجارية للمواد الكيماوية تنص على تركيب أنواع معينة من أجهزة منع

التدفقات المرتدة قبل استخدام عملية الري الكيميائي. وقد تتفاوت مواصفات أجهزة منع التدفقات المرتدة وطرق التحكم بها بحسب تفاوت السلطات القضائية. وينبغي على مستخدمي الري الكيميائي أن يقوموا دوماً بمشاورة المختصين أو الخبراء المحليين من أجل الحصول على معلومات بشأن أجهزة منع التدفقات المرتدة المطلوبة في هذه المنطقة.

(١٩,٢,٢) اللوائح والسلامة

القاعدة الأولى في عملية الري الكيميائي هي دوماً السلامة. فبموجب اللوائح الفيدرالية والمحلية، فإن كافة نظم حقن المواد الكيماوية تحتاج إلى توافر أجهزة خاصة للسلامة مع عملية الري الكيميائي، وصمامات عدم الرجوع وصمامات تفريغ الهواء. ولابد من وقاية فوهات الآبار من التدفقات العكسية، أو تصريف النظام، أو السحب الارتدادي. كما يجب تركيب أجهزة تعشيق كهربية وهيدروليكية ذات تأخيرات زمنية فيما بين الحاقنات ومضخات الري لمنع حقن المواد الكيماوية حين لا يعمل نظام الري. ولابد دوماً من أن تكون مناطق حقن المواد الكيماوية مسيّجة بشكل آمن وأن تكون ذات مرافق احتواء ملائمة في حالة حدوث أي انسكاب للمواد الكيماوية (Shulze and Buttermore, 1994). ولابد من التميز الواضح وتوفير إمكانية وصول يسيرة إلى معدات الوقاية الخاصة، وحمامات السلامة، وأي عوامل كيماوية تكون مطلوبة لتحييد المواد الكيماوية. ولابد أن يكون العمال مدربين بشكل خاص، وفي بعض الحالات، لابد أن يكون من حاملي التراخيص باستخدام المواد الكيماوية. وأما حقن أي من مبيدات الآفات فلابد أن يكون مسموحاً به بشكل محدد من خلال بطاقة العلامة التجارية لمبيد الآفات، كما أنه قد يكون عرضة للوائح حكومية إضافية. ولابد من الإبقاء على سجلات تفصيلية بكافة تطبيقات الاستخدامات الكيماوية السابقة من أجل السلامة، والتقييم، والاشتراطات القانونية والتنظيمية.

ولابد من فحص كافة المواد الكيماوية ومحاليل المياه والمواد الكيماوية بها وذلك لتفادي التأثيرات السامة للنبات قبل القيام بأي حقن. بالإضافة إلى ذلك، من المهم أن

تكون كافة المواد الكيماوية المحقونة في وقت واحد، متوافقة مع بعضها البعض، وألا يتم تجاوز كيميائية الماء وحدود التركيز، ومن ثم لا تتكون الترسبات التي قد تسد المنقطات. وبعض المركبات الكيميائية مثل نترات الكالسيوم وحامض الفسفوريك سوف تكوّن بشكل فوري ترسيبات تتسبب في انسداد حاد للمنقطات. أما تركيزات مبيدات الآفات القابلة للاستحلاب، والمساحيق القابلة للتبليل فقد تتطلب تصميما خاصاً واعتبارات إدارة خاصة (مثل التحريك الميكانيكي لخزان الإمداد) للمساعدة في ضمان الحصول على إضافات منتظمة والتقليل من الانسداد. وكذلك قد يستلزم الأمر في بعض الأحيان اللجوء إلى عملية التحميض لتخفيض الرقم الهيدروجيني (pH) للماء، قبل البدء بحقن المادة الكيماوية. ولابد من إجراء اختبارات الترسيب عند نفس التخفيفات، والحامضية (pH)، وغيرها من شروط استخدام المواد الكيماوية. ويمكن الاطلاع على المزيد من المعلومات والإجراءات في دراسة كل من بتاكيك Ptacek (1986)، وسماجسترلا وآخرين Smajstrala *et al.* (1986)، وفان دير قيليك van der Gulik (1993)، وبيرت وآخرين Burt *et al.* (1995)، وكلارك وآخرين Clark *et al.* (1998)، وسشيرير وآخرين Scherer *et al.* (1999)، وجرين-بيري وآخرين Gran-berry *et al.* (2001).

(١٩,٢,٣) أجهزة منع التدفقات المرتدة

يمكن للتدفقات المرتدة أن تظهر في نظم الري الكيميائي إما بواسطة السحب الارتدادي أو الضغط الارتدادي (Smajstrala *et al.*, 1985; Wright *et al.*, 1992; van der Gulik, 1993; Solomon and Zoldoske, 1998; ASABE, 2006). فأما السحب الارتدادي فيسببه الضغط المتدني أو الضغط المنخفض في أنابيب إمداد الماء. أما المسببات الرئيسة للسحب الارتدادي فهي:

- تعطل صمام عدم الرجوع لخط الأنابيب الرئيس في شبكة الري عند إغلاق المضخة أو عند تعطل المحرك.

• تسبب الأنابيب صغيرة الحجم في ميل هيدروليكي حاد في خط الإمداد.

• حالات الكسور في خطوط الأنابيب لإمداد الماء إلى الخط الرئيس، وهو الأدنى من نقطة خدمة العميل.

• انخفاض الضغط للخط الرئيس بسبب المعدل العالي لسحب الماء، مثلا من أجل مكافحة الحرائق أو غسيل الخط الرئيس بالدفق.

• ضغط الإمداد المنخفض للخط الرئيس كنتيجة لتعطل المضخة أو المحرك.

وأما الضغط الارتدادي فيظهر حين يعمل نظام المستخدم بضغط أعلى من نظام إمداد الماء. وأما المصادر الرئيسة للضغط الارتدادي فهي:

• مضخات تعزيز الضغط في نظام المستخدم والتي يتم استخدامها لزيادة التدفقات ولاستيفاء متطلبات الضغط.

• الربط البيني مع نظم أنابيب أخرى تعمل بضغوط عالية.

• نظم الحقن المدفوعة بقدرة الكهرباء أو الغاز.

• الوصلات مع الأنظمة المكيفة الضغط، مثل الغلايات.

• الفروق في الارتفاع بين نظام الري ونظام إمداد الماء أو مصدر المياه.

والأجهزة التالية يمكن استخدامها مع نظام الري الكيميائي. والجهاز المختار سيعتمد على درجة الخطر، ونوعية الحاقنة، وتجهيز نظام الري. ولابد من أن يتم اختبار كافة أجهزة منع التدفقات المرتدة بواسطة مختبر معتمد قبل كل موسم ري، وأن يتم فحصها قبل كل مرة يتم فيها إجراء عملية الري الكيميائي. ولابد من أن يتم تركيب "جهاز منع التدفقات المرتدة" فيما بين منفذ تصريف المضخة ونقطة حقن المواد الكيماوية.

(١٩,٢,٣,١) الفجوة الهوائية

يمكن لفجوة هوائية تبلغ – ٠,٢٥ م أن تكون أداة فعالة لمنع التدفقات المرتدة. ويشيع استخدام الفجوات الهوائية كثيراً حين يكون مصدر الماء في نظام الري الكيميائي

هو بركة أو خزان ذاتي الاحتواء. ولابد من الإبقاء على الفجوة الهوائية فيما بين أقصى ارتفاع لسطح الخزان والأنابيب المستخدمة لملء الخزان. والمحاصيل مثل التوت البري، غالباً ما تستخدم الخزانات للإمداد بمياه الري، والوقاية من الصقيع، ويمكنها أن تستخدم الفجوة الهوائية كأداة لمنع التدفقات المرتدة.

(١٩,٢,٣,٢) قواطع تفريغ الهواء الجوي والضغط

قواطع التفريغ تعتبر فعالة في حالات السحب الارتدادي فقط. ويمكن فقط استخدام قواطع تفريغ الهواء الجوي (AVB) في الحالات التى لا تكون فيها الوحدة معرضة لضغط متواصل، ومن ثم ليس بها صمامات إغلاق باتجاه مصب التيار لهذه الوحدة. وعلى خلاف قواطع تفريغ الهواء الجوي (AVB)، نجد أن قواطع تفريغ الضغط (PVB) لها صمام تنفيث جوي يتم تعبئته داخليا بواسطة زنبرك. وهذا الزنبرك يساعد على فتح الصمام، ومن ثم يمكن تركيب قواطع تفريغ الضغط (PVB) على جانب الضغط في صمام الغلق، وتستخدم في حالات تعمل في ظل ضغط متواصل. ولابد من تركيب قواطع تفريغ الهواء الجوي (AVB) أو قواطع تفريغ الضغط (PVB) على بعد ٣٠ سم (١٢ بوصة) فوق أعلى الرشاشات، أو المنقطات في نظام الري الكيميائي.

والاستخدام المقبول لكل من قواطع تفريغ الهواء الجوي والضغط يشمل حالات يتم فيها ضخ الماء غير الصالح للشرب إلى داخل نظام الري المتصل بوصلة تعامدية بمنطقة ري أو بشبكة أنابيب تابعة لمصلحة البلدية حيث السحب الارتدادي هو وحده الأمر المحتمل الحدوث. ولا يستحسن استخدام قواطع التفريغ مع نظم الري التي تطبق استخدام عملية الري الكيميائي.

(١٩,٢,٣,٣) صمام الكبح مع صمام تصريف الضغط المنخفض وصمام تفريغ الهواء

بشكل نمطي، نجد أن كلا من صمام الكبح وصمام تصريف الضغط المنخفض وصمام تفريغ الهواء يتم دمجهم جميعا معا في منفذ تفتيش واحد، سواء كانت مصنعة كوحدة واحدة أو تم تجميعها كعناصر منفصلة. وعند دمج هذه الأجهزة تُكوّن جهاز

معتمداً لمنع التدفقات المرتدة، في نظم عملية الري الكيميائي. وكل من صمام الكبح، والأجهزة الملحقة لابد من أن يتم تركيبها بالتوافق مع مواصفات الصانع، والإبقاء عليها في حالة سليمة.

صمام الكبح: صمام الكبح يتكون من زعنفة قلابة داخلية التحميل، قادرة على غلق ومنع التدفقات المرتدة للري من الرجوع إلى مصدر الماء. والمصطلح يتم استخدامه، بوجه عام، بحيث يضم كل أنواع العناصر بغض النظر عن شكل وطريقة التشغيل. ولابد لصمام الكبح من أن يحظى بسداد محكم مانع للماء ليحول دون حدوث التدفق العكسي.

ولابد لصمام الكبح من أن يحتوي على آلية غلق سريعة ومحكمة الإغلاق تنغلق في نفس لحظة توقف الماء عن التدفق في اتجاه التيار. ولابد للهيكل البنائي لصمام الكبح أن يسمح بإمكانية وصول يسيرة من أجل أغراض الفحص الداخلي والخارجي والصيانة. والطريقة المفضلة لتركيب صمام الكبح هي أن يتم تركيبه بشكل أفقي أعلى سطح الأرض مع ترك مسافة كافية لتيسير الصيانة والاختبار والفحص. فلابد من أن يتم اختبار صمام الكبح وفحصه بعد تركيبه للتأكد من أنه قد تم تركيبه بشكل صحيح وأنه يعمل بشكل مرض.

ولابد أن يتم تصريف المياه من كل من خطوط أنابيب الري وصمام الكبح في فصل الخريف لوقايتها من التجمد. ويمكن للصانع أن يوفر توصيات بشأن كيفية نزح المياه المحجوزة في تجويف الجهاز.

صمام تصريف الضغط المنخفض: إن صمام التصريف الآلي منخفض الضغط يتم استخدامه مع صمام الكبح ويتكون من صمام زنبركيّ التعبئة، أو صمام هيدروليكي التشغيل يتخذ لنفسه موضعاً عند قاع خطوط أنابيب الري فيما بين الصمام ومصدر المياه. وصمام التصريف الآلي منخفض الضغط يتم تصميمه هكذا إن كان صمام الكبح يتسبب في التسريب بعد إغلاق النظام، وصمام التصريف الآلي

منخفض الضغط سيسمح بأن يتم تصريف مزيج الماء والمواد الكيماوية بعيداً عن مصدر الماء بدلاً من أن يصب فيه.

ولابد من تركيب صمام التصريف الآلي منخفض الضغط فيما بين مصدر الماء وصمام الكبح بحيث إن أي مائع قد ينزّ فيما وراء صمام الكبح عائداً باتجاه مصدر الماء سيتم تصريفه بشكل نمطي إلى خارج أنابيب الري. ولابد لقطر صمام التصريف أن يبلغ على الأقل ٢ سم (٤/٣ بوصة) ولابد أن يكون موضعه عند قاع أنبوب الري الافقي فيما بين مصدر الماء وصمام الكبح. ولابد للفتحة الخارجية لصمام التصريف من أن تبلغ ٥ سم (٢ بوصة) أعلى سطح الأرض. ولابد من أن يتم التحكم في سريان التدفق من صمام التصريف بواسطة أنبوب أو حوض أو خندق أو انحدار لسطح التربة أو بأي وسيلة أخرى بحيث إنه سيسري بعيداً عن مصدر الماء.

صمام تفريغ الهواء: صمام تفريغ الهواء يتم دمجه مع صمام الكبح، وصمام التصريف منخفض الضغط. ويتكون الجهاز من صمام زنبركي التعبئة، أو صمام قاطع تفريغ الهواء الجوي هيدروليكي التشغيل. وقواطع تفريغ الهواء الجوي (AVB) تسمح للهواء بالدخول إلى أنابيب الري حين يتم خفض ضغط خط الأنابيب إلى مدلول مقياس ضغط يبلغ الصفر أو أقل. وجهاز التفريغ الهوائي بشكل نمطي يتخذ لنفسه موضعاً أعلى خط أنابيب الريّ الأفقي فيما بين صمام الكبح ومصدر الماء.

وجهاز تفريغ الهواء لابد من أن يتم تركيبه في مثل هذا الوضع وبطريقة تمنع دخول أي حشرات أو حيوانات أو مياه الفيضانات أو غيرها من الملوثات الأخرى إلى داخل أنابيب الري من خلال جهاز التفريغ الهوائي. ويتم تعليق جهاز التفريغ الهوائي على منفذ التفتيش طالما أن ذلك لا يتداخل مع التفتيش على أجهزة منع التلوث الأخري، بما فيها صمام الكبح، وصمام التصريف منخفض الضغط.

منفذ التفتيش: منفذ التفتيش يعمل على تيسير الوصول إلى المكونات الداخلية لصمام الكبح، وصمام التصريف الآلي منخفض الضغط، وصمام التفريغ الهوائي

من أجل أغراض الاختبار والفحص والصيانة. ولابد لمنفذ التفتيش أن يسمح بالفحص البصري لتحديد ما إذا كان هناك أي تسريب فيما وراء صمام الكبح، أو سدادة الإحكام، أو القاعدة، أو أي مكونات أخرى في جهاز منع التدفقات المرتدة. ولابد للمنفذ من أن يحظى بقطر فوهة أو بمساحة مشاهدة حدّها الأدنى يبلغ ١٠ سم (٤ بوصة). أما مع أعمال التحويلات ذات أنابيب الري الأصغر كثيراً من أن تركب منفذ تفتيش بقطر ٤ بوصة، فنجد أن صمام الكبح والأجهزة الملحقة الأخرى ينبغي ان يتم تركيبها باستخدام الفواصل السريعة، أو الوصلات الشفهية، أو قارنات مطارق التسوية، أو غير ذلك من الوصلات الأخرى التي تسمح بتسهيل عمليات الاختبار والفحص والصيانة والاستبدال.

(١٩,٢,٣,٤) صمام الكبح المزدوج التجميعي

إن صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) يتكون من اثنين من صمامات الكبح المعتمدة، والمحملة داخلياً إما بواسطة زنبرك أو ثقل، مثبتين كوحدة واحدة فيما بين اثنين من صمامات الغلق المحكمة الإغلاق. ويعتبر صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) من الأجهزة المعتمدة لمنع التدفقات المرتدة، وهو فعال في مواجهة التدفقات المرتدة التي يسببها الضغط الارتدادي أو السحب الارتدادي. ولابد من تركيب صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) في عكس اتجاه تدفق نظام حقن المواد الكيماوية، وعند موضع يسهل الوصول إليه لإجراء الفحص.

ولابد من أن يتم غسيل خطوط أنابيب الري بشكل كامل بالدفق قبيل تركيب صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA)، ومعظم حالات الإخفاق أثناء التجارب تعود إلى وجود بقايا تعوق مقاعد صمام الكبح الأول أو الثاني. ولابد من أن يتم تركيب صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) أعلى سطح الأرض بمسافة كافية لتيسير عمليات الصيانة والاختبار. ويتم فحصه وتجريبه بعد التركيب من أجل التأكد من أنه تم تركيبه بشكل صحيح وأنه يعمل بشكل مرض. ولابد من أن يتم تركيب

مصفاة أمام صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) مباشرة لإطلاق السائل المستخرج للخارج. ولابد من القيام بصرف الماء عن صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) في فصل الخريف مع وقايتها من التجمد. ويمكن للصانع أن يوفر توصيات تخص كيفية صرف المياه المحتجزة في فجوة الجهاز. ولابد من أن يتم اختبار صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) في مختبر معتمد قبل كل موسم ري.

وإن أمكن، لا ينبغي تركيب صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) في أي حفرة، لأن أياً من محابس الاختبار التي تسبب تسرباً ستصبح بذلك وصلات تعامدية عندما تفيض الحفرة. فإن كان لابد من أن يتم تركيب الوحدة في حفرة، فلابد عندئذ من اتخاذ الاحتياطات اللازمة لصرف السوائل عن الحفرة. ولابد كذلك من أن يتم سد فتحات صمامات الاختبار، للحد من مخاطر التسرب إن أصبح الجهاز مغموراً بالمياه. ولابد أن تكون الحفرة متسعة وكبيرة بما يكفي لتوفير مدخل سلس لاختبار أو إصلاح الجهاز. أما صمام الكبح المزدوج التجميعي (DCVA) الأكبر من ٦,٤ سم (٢,٥ بوصة) فسيكون له قوالب دعم للحيلولة دون اصابته بالتلف.

(١٩,٢,٣,٥) جهاز مخفض الضغط

إن جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) يتكون من اثنين من صمامات الكبح الداخلية التعبة والعاملة بشكل مستقل، والتي يتم الفصل بينهما بمنطقة مُخَفضة الضغط. ولابد من أن يتم تركيب الجهاز كوحدة واحدة فيما بين اثنين من صمامات الغلق المحكمي الإغلاق. جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) هو أداة فعالة في مواجهة التدفقات المرتدة التي يسببها أي من الضغط الارتدادي أو السحب الارتدادي، وقدّ تم تصميمه لكي يتم استخدامه في حالات تعتبر شديدة الخطورة. وجهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) رغم أنه يعتبر أكثر تكلفة قليلاً إلا أنه يمثل أفضل وقاية لمنع التدفقات المرتدة. والسبب الرئيس في ذلك هو أن الوحدة ستقوم بتسريب الماء حين لا تعمل بكفاءة، مما يسمح بالفحص البصري السريع الذي يخبر

العامل إذا ما كانت الوحدة معطلة. وعندئذ يمكن إصلاح الوحدة قبل الخوض في عملية الري الكيميائي. ولابد من أن يتم تركيب جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) بعكس اتجاه تيار تدفق جهاز حقن المواد الكيماوية، ويفضل أن يتم تركيبه أعلى سطح الأرض بمسافة كافية لتيسير الصيانة والفحص. ولابد من أن يتم تركيب مصفاة لإطلاق السائل المستخرج للخارج أمام جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) مباشرةً. ولابد من أن يتم غسيل خطوط أنابيب الري بشكل كامل بالدفق قبل تركيب جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD). ومعظم حالات الإخفاق أثناء الاختبار تعزى إلى وجود بقايا تعوق مقاعد صمام الكبح الأول أو الثاني. وإن أمكن، لا ينبغي تركيب جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) في أي حفرة تحت مستوى سطح الأرض. ففيض الحفرة يسبب وصلة تعامدية مباشرة من خلال صمام التفريغ.

فإن كان تركيب الوحدة في حفرة أمراً ضرورياً للغاية، فلابد عندئذ من اتخاذ الاحتياطات اللازمة لنزح السوائل عن الحفرة. أما جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) الأكبر من ٦,٤ سم (٢,٥ بوصة) فسيكون له قوالب دعم للحيلولة دون إصابتها بالتلف. وأجهزة تخفيض ضغط الارتداد (RPBD) هي عرضة لضغوط إمداد متقلبة في حالة التدفق المتدني للغاية، أو التدفق الاستاتيكي، وهو ما يسبب تنقيطاً غير مرغوب فيه وفي نهاية الأمر تلف الجهاز. ولابد من أن يتم فحص جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) واختباره بعد تركيبه للتأكد من أنه تم تركيبه بشكل صحيح وأنه يعمل بشكل مرض، ولابد من أن يتم اختباره على يدي مختبر معتمد قبل كل موسم ريّ. ولابد من أن يتم تصريف الماء من جهاز مخفض ضغط الارتداد (RPBD) في فصل الخريف مع وقايته من التجمد. ويمكن للصانع أن يوفر توصيات تخص كيفية تصريف كل فجوة تحجز الماء في الجهاز.

(١٩,٢,٤) معدات السلامة

لابد لنظم عملية الري الكيميائي أن تشتمل كذلك على أجهزة إضافية للسلامة والوقاية من التلوث، مثبتة على نظام الري، ونظام حقن المواد الكيماوية

(Smajstrala *et al.*, 1985; Wright *et al.*, 1992; Burt *et al.*, 1995; Solomon and Zoldoske, 1998; Evans and Waller, 2007). وهذه الأجهزة يتم استخدامها للحد من المخاطر التي يتعرض لها البيئة والعمال خلال تطبيق عملية الري الكيميائي.

(١٩,٢,٤,١) معدات خط الحقن

صمام الكبح بخط الحقن: إن صمام الكبح بخط الحقن لابد من أن يتم تركيبه بحيث يحول دون تدفق الماء من نظام الري إلى داخل خزان الإمداد بالمواد الكيماوية، وهو ما يحتمل أن يجعل خزان الإمداد هذا يفيض. وكذلك يتم استخدام صمام الكبح ليحول دون التدفق بفعل الجاذبية من داخل خزان الإمداد بالمواد الكيماوية، إلى داخل نظام الري إذا كان ضغط الفتح لصمام الكبح كافياً. وقيمة ضغط الفتح أو ضغط التصدع لصمام الكبح بخط حقن المواد الكيماوية لابد أن تبلغ على الأقل ٧٠ كيلوبسكال أو أكثر لمنع التدفق بفعل الجاذبية. ولابد لصمام الكبح بخط الحقن من أن يكون موضعه مع اتجاه تيار تدفق أي من معدات منع التدفقات المرتدة، ومع اتجاه تيار تدفق صمامات الإمداد بالماء.

وإذا أمكن عملياً، ينبغي لنقطة حقن المواد الكيماوية أن تكون أعلى من خزان الإمداد بالمواد الكيماوية، وأدنى من أدنى الرشاشات أو المخارج على نظام الري. وهذا سيمنع عملية السحب من خزان الإمداد بالمواد الكيماوية. وكذلك ينبغي لنقطة حقن المواد الكيماوية أن يكون موضعها أبعد ما يمكن عن مصدر المياه وذلك لحمايته في حالة التسرب الكيميائي أو انسكاب المواد الكيماوية على سطح الأرض.

مجس التدفق: إن مجسّ التدفق في خط الحقن والمركب على خط حقن عالي الضغط ضد اتجاه تيار تدفق صمام الكبح بخط حقن المواد الكيماوية، يمكن له أن يضمن إغلاق النظام في حالة ما إذا توقف التدفق في خط الحقن. وهذا الجهاز يقوم بالحماية ضد استمرار التشغيل في أعقاب حدوث انفجار أو انقطاع في خط الحقن، أو حدوث عطل بمضخة الحقن، أو حدوث فقد في التجهيزات الأساسية، أو في حالة فراغ خزان الإمداد بالمواد الكيماوية، أو انسداد منفذ الحقن.

الصمام اليدوي: الصمام يدوي التشغيل ينبغي أن يتم تركيبه على خزان الإمداد بالمواد الكيماوية. فتركيب صمام يدوي سيسمح للعامل بأن يقوم بشكل يدوي بإيقاف تدفق المواد الكيماوية من خزان الإمداد بالمواد الكيماوية خلال عمليات صيانة المعدات أو في حالات الحوادث.

المصفاة: ينبغي أن يتم تركيب مصفاة على جانب السحب في مضخة حقن المواد الكيماوية. وتقع مصفاة المنبع لأنبوب المعايرة، ومضخة الحقن، وصمام تنفيس الهواء، وصمام الكبح بخط الحقن، والمصفاة ضرورية لمنع الأجسام الغريبة من أن تقوم بسد أو تعطيل هذه الأجهزة أو غيرها من معدات السلامة.

جهاز معايرة الحاقنة: ينبغي أن يتم تركيب جهاز معايرة ذو حجم كاف على جانب السحب في مضخة الحقن لمعايرة مضخة الحقن بشكل دقيق. وتركيب أنبوب معايرة هو أمر يوفر طريقة سلسة لفحص وضبط ناتج مضخة الحقن بشكل دقيق. ولابد لحجم أنبوب المعايرة وعلامات تدريجه، من أن يكونا كافيين لتوفير حد أدنى لفترة معايرة تبلغ ٥ دقائق. ولابد لعلامات تدريج أنبوب المعايرة من أن تكون كبيرة بما يكفي ليسمح للمستخدم بأن يقرأ التدريج. والتوافق الكيميائي هو مفتاح أساسي لمنع أنبوب المعايرة من أن يتشوه لونه أو تتدهور جودته.

صمام تنفيس الهواء: ينبغي أن يتم تركيب صمام تنفيس الهواء على الجانب مرتفع الضغط من مضخة حقن المواد الكيماوية بشكل مباشر من منبع تدفق صمام الكبح بخط حقن المواد الكيماوية. ويمكن استخدام صمام تنفيس الهواء لتفريغ الهواء والضغط المحبوسين في خط الحقن العالي الضغط، وهو بخلاف ذلك قد يؤثر على معدل الحقن المدرج. ولابد من أن يتم تفريج الضغط داخل الخط في أي وقت يفترض أن يتم فيه فصل خط الحقن. فهذا يحول دون جعل العامل يصيبه رذاذ المواد الكيماوية من خط الحقن. وهذا الصمام مفيد بشكل خاص عند القيام بمهام التفتيش على المعدات.

خزانات الإمداد: ينبغي أن يتم تشييد خزانات الإمداد بالمواد الكيماوية من خامات ذات مقاومة كيميائية. كما أن خزانات الإمداد التى تبقي في الحقل طوال العام لابد أن يتم تشييدها هي الأخرى من خامات ذات مقاومة لأشعة الشمس. ولابد من أن يتم تصميم خزانات الإمداد بحيث يصبح من السهل نزح المائع عنها بعد كل استخدام. أما سعة الخزانات فسوف تعتمد على نوعية المادة الكيميائية المحقونة. ووجود نظام احتواء يساعد في الوقاية من حدوث تلوث موضعي في حالة ما إذا أصاب خزان الإمداد بالمواد الكيماوية أي تسريب أو كسر نتيجة للانفجار. وهياكل الاحتواء تلك يمكن صنعها من اللدائن (البلاستيك) ذات المقاومة الكيميائية، أو المعادن المطلية ذات المقاومة الكيميائية، أو الخراسانة ذات المقاومة الكيميائية.

ولابد لموضع خزانات الإمداد بالمواد الكيماوية أن يكون أبعد ما يمكن عن مصدر الماء. ولابد من أن يتم تدريج انحدار سطح التربة لدفع مائع التصريف بعيداً عن مصدر الماء في حالة حدوث تسريب أو انسكاب كيميائي.

الصمام اللولبي: لمزيد من الامان، يمكن استخدام صمام لولبي مغلق بشكل طبيعي على خط السحب الكيميائي بأن يتم تعشيقه كهربياً مع المحرك أو الموتور الذي يقوم بدفع مضخة الحقن. وهذا الصمام الذي يقع على جانب السحب لمضخة حقن المواد الكيماوية يعمل على توفير إغلاق إيجابي لخط حقن المواد الكيماوية. ولا يمكن للمواد الكيماوية أن تتدفق إذا ما توقفت مضخة الحقن. ولابد من صناعة الصمام اللولبي من خامات ذات مقاومة كيميائية؛ لأنه سيكون على اتصال بالمواد الكيماوية المركزة.

(١٩,٢,٤,٢) أجهزة تعشيق مضخة الحقن

ينبغي استخدام نظام تعشيق فيما بين نظام القدرة الدافعة لوحدة الحقن، ووحدة ضخ الري، ونظام الري، إذا ما كان يتم التحكم فيها بشكل كهربي. وأجهزة التعشيق يمكن انجازها بشكل كهربي، وهيدروليكي، وميكانيكي. ولابد لجهاز التعشيق من أن يعمل بحيث لو توقفت مضخة الري، تتوقف مضخة الحقن هي الأخرى. وهذا

النوع من أجهزة التعشيق يشار إليه باسم جهاز التعشيق أحادي الاتجاه. ومن عيوب جهاز التعشيق أحادي الاتجاه هو أن بعض نظم الري المدفوعة بالمحركات تواصل العمل إذا ما توقفت مضخة الحقن. وفي مثل هذه الحالة، يكون من الصعب على العامل أن يحدد المكان الذي توقفت عنده عملية المعالجة الكيميائية في الحقل.

أما جهاز التعشيق ثنائي الاتجاه، فيضمن أن كلا النظامين تم إغلاقه في آن واحد، ويمكن إنجازه مع الأنظمة غير الكهربية من خلال تركيب مجس تدفق أو مجس ضغط على خط الحقن العالي الضغط. والفاقد في الضغط في خط حقن المواد الكيماوية نتيجة للكسر في خط الحقن، أو خواء خزان الإمداد بالمواد الكيماوية، أو انسداد المصفاة، أو تعطل مضخة الحقن هي أمور تتسبب في إغلاق متزامن لنظام الري ونظام حقن المواد الكيماوية.

(١٩,٣) نظم الحقن

هناك أربعة أنواع رئيسية من نظم الحقن المستخدمة في عملية الري الكيميائي، وهي: مضخات الطرد المركزي، ومضخات الإزاحة الموجبة (المكابس، الأغشية، التروس، الفصية، التماوجية، وغيرها)، والحاقنات تفاضلية الضغط، وحاقنات الفنتـــوري. وبعض الحاقنات تكون توليفة من كل هذه الأنواع. والأنظمة تفاضلية الضغط هي غالباً الأقل تكلفة كما أنها الأقل دقة. والتكلفة الأساسية لكل من حاقنات الفنتوري والأنظمة المدفوعة بقدرة الماء هي أقل من البدائل الأخرى، وعلى كل الأحوال، فإن تكلفة هذه الحاقنات مع نظم التغذية الارتجاعية والتحكم، هي في نفس نطاق تكلفة مضخات الإزاحة الموجبة.

ومضخات الإزاحة الموجبة هي المضخات المفضلة الاستخدام بوجه عام في معظم تطبيقات عملية الري الكيميائي بسبب دقتها في قياس المواد الكيماوية الداخلة إلى النظام ولمنعها حدوث التدفقات المرتدة.

أما المواد الكيماوية المحقونة فتكون في صورة غازية أو سائلة، وعلى كل الأحوال، فإن هذه المناقشة ستركز على نظم الحقن المعتمدة على الماء. والغازات المحقونة مثل الكلور والأمونيا اللامائية لها متطلباتها الخاصة، ولابد للمزارعين من أن يقوموا بالتشاور مع مورديهم الكيماويين من أجل هذه التطبيقات الفريدة من نوعها. وهناك العديد من الشركات التي تقوم بتصنيع مضخات حقن سوائل لأنظمة عملية الري الكيميائي. وهذه الأجهزة يتم استخدامها لإضافة المواد القابلة للذوبان في الماء، من الأسمدة ومبيدات الآفات، ومنظمات نمو النبات، وعوامل التبليل، ومحسنات التربة، والأحماض المعدنية، وغيرها من المواد الكيماوية الأخرى المتنوعة.

(١٩,٣,١) اختيار الحاقنات

المعايير الأولية لاختيار الحاقنات تشمل المتانة، والدقة، وسهولة التشغيل والإصلاح، وفترة صلاحية التشغيل، ونطاق معدل التدفق، ومقاومة التآكل أو الصدأ بفعل المواد الكيماوية المستخدمة. ومن بين الاعتبارات الهامة الأخرى التكلفة، ومصدر القدرة الدافعة المتاح، وأنواع المواد الكيماوية المفترض حقنها، وعدد المواد الكيماوية المفترض حقنها في وقت متزامن.

ولابد لأنظمة الحقن من أن تكون قادرة على حقن أي مواد كيماوية قابلة للذوبان في الماء، أو أي أحماض قابلة للذوبان في الماء، أو أي مركزات قابلة للاستحلاب، أو أي مسحوق قابل للتبليل بمناسيب تركيز منخفضة (أي من ١ إلى ١٠٠ مجم/لتر). ويكون للمحاليل مدى حامضية (pH) واسع، أو يكون لها مؤشر تآكل آخر يتطلب حاقنات متعددة مصنوعة من خامات مختلفة. وكذلك يكون من المطلوب استخدام حاقنات منفصلة لحقن الأسمدة ومبيدات الآفات الزراعية، حيث إن الأسمدة بشكل نمطي تستلزم معدل حقن أعلى من المواد الكيماوية الأخرى. وغالباً ليس من الممكن إجراء ضبط دقيق لحاقنة الأسمدة لتقوم بالحقن بمعدل التدفق المنخفض اللازم لحقن مبيدات الآفات أو الأحماض.

واختيار الحاقنة سيعتمد على أخذ العوامل التالية في الاعتبار:

• ما هو حجم الحقل، وبرامج استخدام مبيدات الآفات والأسمدة، ونوعيات المحاصيل الواجب تغطيتها؟

• ما هي معدلات تدفق الماء في نظام الري؟

• ما هي المواد الكيماوية التي سيتم حقنها، وبأي تركيزات مرغوبة (لا سيما إذا كان من المرغوب حقن الأحماض)؟

• هل من المطلوب استخدام رؤوس حقن متعددة (للمواد الكيماوية غير المتوافقة) أم لا؟

• ما هي اشتراطات الضغط والتدفق اللازمة للتشغيل الملائم للحاقنة؟

• هل من المرغوب استخدام الحاقنات المتنقلة أم الثابتة؟

وبمجرد تحديد حجم ونوعية الحاقنة، عليك أن تراعي سهولة إصلاح الوحدة، وفترة الصلاحية المقررة لتشغيل تلك الوحدة. وكذلك لابد للمزارعين من أن يأخذوا في الحسبان مدي الثقة في الصانع وما يوفره من دعم فني، وخدمة، وغير ذلك من المؤهلات. وكثير من هذه المعلومات متوافر على شبكة المعلومات الدولية (الإنترنت)، ويتوافر كذلك من خلال تجاذب أطراف الحديث مع المزارعين الآخرين والعاملين في الإرشاد الزراعي.

أما حقن مواد كيماوية متعددة في نفس ذات الوقت، فهو أمر يتطلب التخطيط الحذر لضمان التوافق ومسافات التباعد الفاصلة، وعمليات الضخّ المرنة عبر نطاق مختلف من الظروف. وتتوافر بعض مضخات الإزاحة الموجبة التي يمكنها تشغيل رؤوس حقن متعددة منفصلة لكل مادة كيميائية مختلفة.

كما تتوافر نظم للتغذية الارتجاعية والتحكم تقوم بقياس معدل تدفق خطوط أنابيب الري، وبشكل آلي تقوم بضبط معدلات الحقن للفنتوري أو لمضخات الإزاحة الموجبة. وعلى سبيل المثال، قدّ يكون لأنظمة الري بالتنقيط العديد من الأحجام المختلفة

للوحدات أو يكون لها وحدات ذات متطلبات مائية مختلفة. ويمكن لنظام التغذية الارتجاعية والتحكم أن يقوم بضبط معدل الحقن بينما يتغير نظام الري بشكل آلي من وحدة إلى أخرى. وكذلك يمكن لآليات التحكم أن تدير محركات متغيرة السرعة لتوفر نطاقاً واسعاً من معدلات الحقن، وهو الأمر المفيد مع نظم الري الكبيرة (مثل النظم المحورية) أو متعددة المساحات ذات معدلات التدفق الثابتة أو المتغيرة على السواء.

(١٩,٣,٢) مضخات الطرد المركزي

مضخات الطرد المركزي الصغيرة ذات التدفق القطري (مضخات تعزيز الضغط) غالباً ما يتم استخدامها لحقن المواد الكيماوية إلى داخل نظم الري. فالمضخة تسحب الماء بشكل مباشر من خزان المواد الكيماوية وتقوم بتوفير ضغط أعلى من الضغط الموجود في خط أنابيب الري من أجل أن يتم حقن المادة الكيماوية. وبناءً عليه فإن معدل تدفق المادة الكيماوية من المضخة يعتمد على الضغط الكائن في خط أنابيب الري وقت الحقن. والتحديد الدقيق لمقدار المادة الكيماوية المراد حقنها يحتاج إلى إجراء معايرة بينما النظام يعمل. ولأن هذه الأنظمة حساسة لتقلبات وتغيرات ضغط نظام الري، فلا يوصى باستخدامها في حقن المواد الكيماوية السامة حيث لابد من السيطرة المحكمة على معدلات الحقن.

(١٩,٣,٣) مضخات الإزاحة الموجبة

مضخات الإزاحة الموجبة هي أكثر ما يوصى باستخدامه مع نظم الحقن. وهي غالباً ما تصنف بوجه عام إلى مضخات ترددية (المكبس والغشاء)، أو مضخات دوّارة (الترسية والفصية)، أو المضخات المختلطة النوع (مثل: التماوجية، والتجويف التقدمي)، وذلك اعتمادا على الآلية المستخدمة في نقل الطاقة إلى المائع. ويتم استخدام القليل من المضخات الدوّارة وغيرها من الأنواع الأخرى لمضخات الإزاحة الموجبة، من أجل حقن المواد الكيماوية إلى داخل نظم الري. أما المضخات الدوّارة من نوعية المضخات ذات التروس والمضخات الفصية، إلى جانب المضخات التماوجية فيمكن

استخدامها فقط حين يكون من المطلوب تشغيل معدلات حقن صغيرة. وهذه المناقشة تغطي فقط مضخات المكبس ومضخات الغشاء ومضخات توليفة المكبس/الغشاء، وهي جميعاً الأنواع الأكثر شيوعاً في الاستخدام في عملية حقن المواد الكيماوية إلى داخل نظم الري.

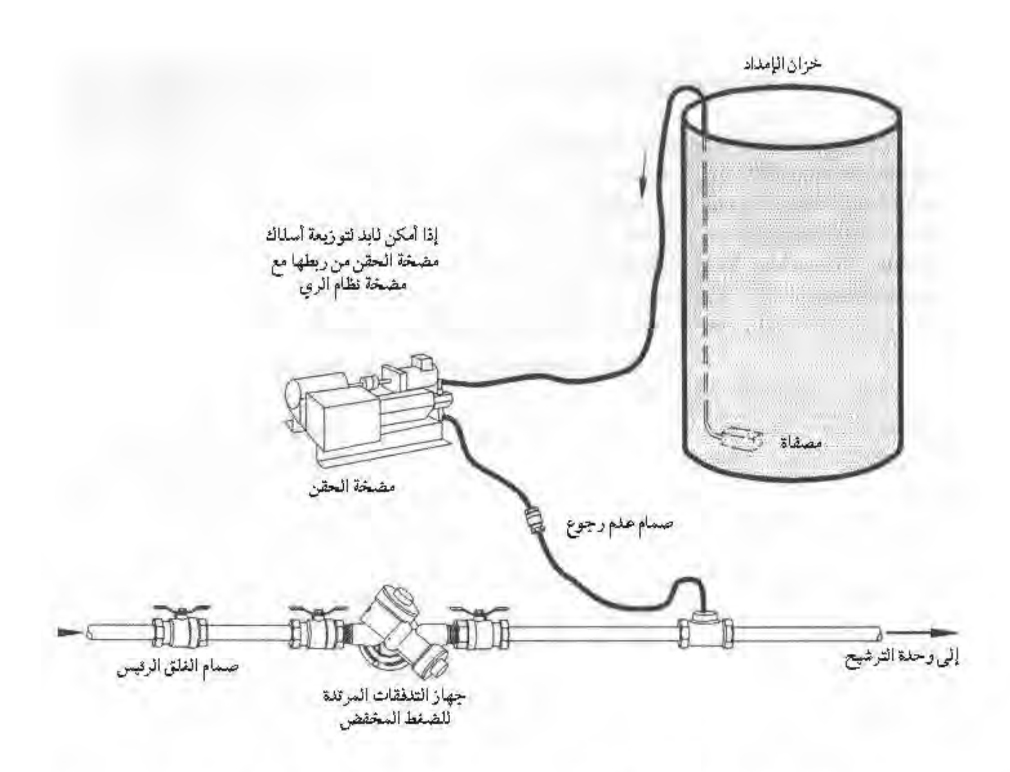
ويوصي باستخدام مضخات الإزاحة الموجبة حيث يكون من المطلوب توفير سيطرة محكمة على معدل حقن المواد الكيماوية، كما في حالة مبيدات الآفات، كما أن هذه المضخات يتم اختيارها مع المواد العالية اللزوجة، فهي تتميز بسهولة مراقبتها ومعايرتها، ويمكن ضبط أغلبها أثناء عملها (وهو أمر مفضل).

ومضخات المكبس والغشاء المملوءة بالمائع وتوليفة المكبس/الغشاء تقترب من أن تكون مضخات الإزاحة الموجبة المثالية. فهذه الأنظمة يمكنها بشكل نمطي التحكم في معدل تدفق الحقن بنطاق خطأ يتراوح ما بين (±١٪) و(±٢٪). وتظل معدلات التدفق المحقونة ثابتة عبر نطاق متنوع من قيم لزوجة المواد الكيماوية، وضغوط خطوط أنابيب الري، طالما أن هناك حدّاً أدنى من الضغط في خط أنابيب الري. وكل من مضخات المكبس والغشاء قابلة للضبط، وعلى كل الأحوال، فإن بعض المضخات لا يمكن أن يتم ضبطها بينما النظام يعمل.

فالمكبس أو الغشاء يعمل على إزاحة مقدار معين من المادة الكيماوية مع كل شوط ضخ. ومضخات المكبس والغشاء تتكون من جهاز ضخ واحد واثنين من صمامات الكبح (الشكل رقم ١٩,١). فبينما يتراجع المكبس أو الغشاء للخلف، تنسحب المادة الكيماوية إلى داخل الحجرة من داخل الخزان عبر صمام الكبح الأول. وبينما يتقدم المكبس أو الغشاء للأمام، يتم دفع المادة الكيماوية خارج صمام الكبح الثاني إلى داخل خط أنابيب الري. ومضخات الأغشية لها غشاء صغير مرن مصنوع من مادة "التيفلون" أو من المطاط يتحرك دخولاً وخروجاً من حجرة صغيرة. ومن ثم فإن مضخات الأغشية هي أقل عرضة للتآكل من مضخات المكابس، لأنها أقل اتصالا

بالمادة الكيماوية. وبالنسبة لمضخات المكابس، والتى تعمل على سحب المادة الكيماوية إلى داخل أسطوانة معدنية طويلة، لابد من توخي الحذر لانتقاء مكبس وأسطوانة لن يتعرضا للتآكل بفعل المواد الكيماوية.

ومن الممكن شراء مضخات الإزاحة الموجبة، التي تغطي نطاقاً واسعاً فيما يخص معدلات التدفق والخصائص الكيميائية. فعلى سبيل المثال، يمكن شراء مضخات المكابس بأسطوانات ذات اثنين من الأحجام المختلفة على كلا جانبي المضخة من أجل توفير نطاق متنوع من معدلات تدفق الحقن. أما مضخات الأغشية فلها، بوجه عام، نطاق تشغيل ثابت، ولكن يمكن شراء رؤوس حقن مختلفة لتغطي نطاقاً أوسع من معدلات التدفق إلى جانب المواد الكيماوية.



الشكل رقم (١٩,١). مخطط نموذجي لأنظمة مضخات الحقن ذات الإزاحة الموجبة (van der Gulik, 1993).

وتعتبر نظم مضخات الإزاحة الموجبة نظماً قابلة للتكيف مع نظم التغذية الارتجاعية ونظم السيطرة، مما يوفر مرونة إضافية للإدارة. وغالباً ما يتم استخدام سواقات (بكرات) محركات كهربية متباينة التردد، مع نظم التحكم.

وحيث إن مضخات الإزاحة الموجبة تعمل على إزاحة حجم ثابت من المائع مع كل شوط ضخ، من ثم فبمقدور مثل هذه المضخات أن تنتج ضغوط حقن عالية للغاية. ومثل هذا الموقف لابد من تفاديه (أي تجنب محاولة التشغيل في ظل صمام مغلق في خط التصرف)، حيث إن ذلك غالباً ما سوف ينتج عنه تلف المضخة أو خط الحقن.

وتعتبر المحركات الكهربائية ثلاثية المراحل هي مصادر القدرة الأوسع انتشاراً لمضخات المكابس ومضخات الأغشية. وبعض مضخات الحقن تعمل بواسطة القدرة الدافعة للسيور، أو للغازات المضغوطة، أو لأحد المحركات المائية. وهناك مشكلة أخرى مع مضخات الحقن الكهربية ألا وهي أن تلك المضخات بمقدورها أن تواصل حقن المواد الكيماوية بعد أن يتم غلق نظام الري. ومنع هذا التشغيل المستقل يتطلب أجهزة ربط كهربية وميكانيكية إلى جانب المراقبة الدقيقة.

ومن التباين الخاص بمضخات الإزاحة الموجبة، نجد الحاقنات المدفوعة بضغط الماء. فكما هو الحال مع نظم الفنتوري، نجد أن الأنظمة المدفوعة بقدرة الماء يتم تركيبها على خط أنابيب متواز جانبي يسحب الماء من خط الأنابيب الرئيس أعلى خاصرة التدفق عبر الجهاز من أجل حقن المادة (الكيماوية). وعلى كل الأحوال، ففي هذه الحالة، يقوم الماء بتوفير القدرة الدافعة لتوربين صغير أو جهاز مكبس صغير. ويتم التحكم في معدل الحقن بواسطة ضبط مقدار الماء الداخل إلى وحدة الدافع. وأجهزة الحقن المدفوعة بقدرة الماء تعمل، بوجه عام، بنسب حقن تتراوح ما بين ٠,٢٪ و٢٪ من التدفق الإجمالي. والتوربين يستخدم ضغط النظام ليقوم بدفع كامة صغيرة، ووحدة عمود مكبس صغير، وذلك لتحريك حاقنة المكابس أو حاقنة الأغشية. فأما سواقات (وحدة الدافع) المكابس المدفوعة بقدرة الماء فتستخدم مقادير صغيرة مماثلة

من الماء (حوالي ثلاثة أضعاف المقدار المحقون)، ولكن مع عدم خفض ضغط النظام بسبب تشغيلها.

ويتطلب الأمر تنفيذ بعض التصريف من أجل التخلص من الماء من سواقات المكابس المدفوعة بقدرة الماء، حيث لا يعود الماء إلى النظام.

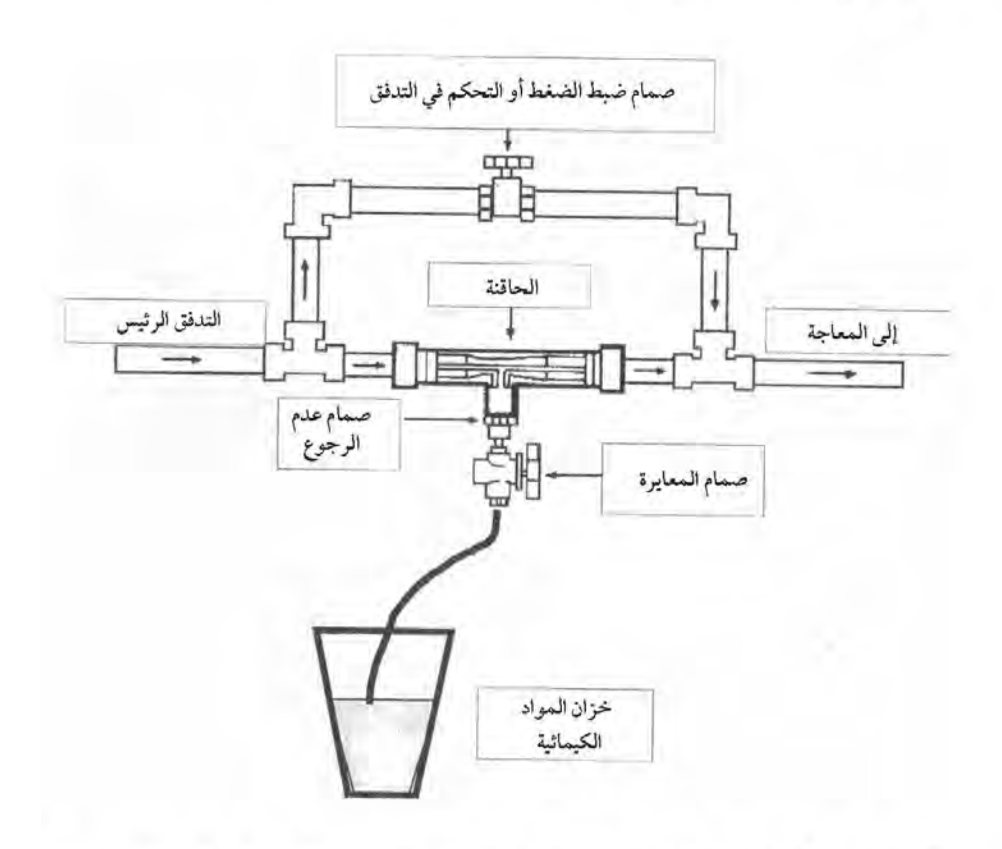
وغالباً ما يشار إلى الحاقنات المدفوعة بقدرة الماء على أنها ملقمات تناسبية أو ملقمات نسبية، لأن مقدار المادة المحقونة يعتمد على معدل التدفق عبر الحاقنة، والذي هو دالة مع الضغط في خط الأنابيب الرئيس. ومن ثم، فإن تركيز المواد الكيماوية في ماء الري سيبقى على حاله؛ لأنه دوما ما يكون متناسباً مع معدل تدفق النظام. وهذه الخاصية المميزة، يمكن لها أن تمثل ميزة في الحالات التى يتغير فيها النظام بشكل آلي من منطقة إلى أخرى، مع تباين متطلبات التدفق، طالما أن التركيز في كل منطقة يظل على حاله.

(١٩,٣,٤) نظم ڤنتوري للحقن

حاقنات ڤـنتوري تعتمد على مبدأ الانخفاض في الضغط بالڤنتوري، في سحب المواد الكيماوية من الخزان إلى داخل خط أنابيب الري. ويمكن استخدام حاقنة ڤنتوري (الشكل رقم ١٩,٢) لحقن المواد الكيماوية إلى داخل خط أنابيب رئيس صغير نسبياً من خلال تحويل نسبة من التدفق خلال الحاقنة. وللتأكيد على أن الماء سيتدفق من خلال التحويلة والحاقنة، لابد من ظهور انخفاض في الضغط في خط الأنابيب الرئيس. وهذا الخفض يتم توليده بواسطة صمام مفتوح جزئياً، أو من خلال فوهة، أو من خلال غير ذلك من أي عوائق أخرى. وهذه العوائق توضع فيما بين معدات تزويد ماء الخلط، ونقطة الحقن. وهي تعمل على زيادة سرعة الماء، وخفض الضغوط إلى قيم أدنى من قيم الضغط الجوي في عنق جهاز الڤنتوري.

وأغلب خزانات المواد الكيماوية في نظم حقن الڤنتوري تكون مزودة بفتحات لتنفيس الضغط الجوي، ويعمل الفرق في الضغط فيما بين الغلاف الجوي وعنق جهاز

الفنتوري، على دفع المحلول الكيميائي إلى داخل أنابيب الري عند هذه المنطقة المخفضة الضغط. ويتم تسهيل عملية خلط المواد الكيماوية بماء الري بواسطة سرعة التدفق في جهاز الڤنتوري. ولأن المادة الكيماوية يتم مصّها إلى داخل نظام الري فيما بعد إلى المضخات الرئيسة أو مضخات التعزيز، من ثم ليس هناك من تلامس بين المادة الكيماوية والمضخة، ومن ثم فإن نظم حاقنات ڤنتوري هي الأقل عرضة للتآكل من بعض أنواع الحاقنات الأخرى.



الشكل رقم (١٩,٢). مخطط لأساسيات نظام حقن الڤنتوري. الصورة مهداة من مؤسسة مـازي Mazzei للحاقنات (MIC).

وحاقنات الفنتوري لها أحجام مختلفة ويمكن تشغيلها في ظل ظروف ضغط متباينة. وأما سعة السحب (معدل الحقن)، وفاقد الضاغط المطلوب، ونطاق ضغط التشغيل، جميعها ستعتمد على النموذج. وحاقنات فنتوري ذات آليات التغذية الارتجاعية والتحكم أو بدونها يمكن شراؤها في وحدات ذات أحجام مختلفة لتوفير نطاق واسع من معدلات تدفق الحقن. وقد يتطلب الأمر استخدام خزان كبير لتخزين المادة الكيميائية لأن معدلات التناسب منخفضة (بشكل نمطي تقع في المدي ١ : ١٥). وهذا الأمر يميل إلى أن يقصر استخدام حاقنات الفنتوري على المساحات الصغيرة نسبياً.

وحاقنة الفنتوري لا تحتاج إلى قدرة خارجية لتعمل، على الرغم من أن المعدات المساعدة (مثل نظم التحكم، ومضخات التعزيز) تتطلب قدرة. وهي ليس بها أي أجزاء متحركة، مما يزيد من فترة صلاحيتها للعمل، ويقلل من احتمالية تعطلها. وعادة ما يتم تشييد الحاقنة من البلاستيك وهي مقاومة لمعظم المواد الكيماوية. وهي تحتاج إلى الحد الأدنى من الاهتمام بالتشغيل والصيانة. وحيث إن الجهاز بسيط للغاية، نجد أن تكلفته منخفضة بالمقارنة بالأجهزة الأخرى ذات نفس الوظيفة والمقدرة.

معدل تدفق حاقنة الفنتوري يمكن أن يتباين بشكل كبير نتيجة للتغيرات في ضغط أنابيب الري. وأغلب حاقنات الفنتوري تتطلب على الأقل ٢٠٪ من فرق الضغط حتى تبدأ عملية تفريغ كافية من أجل التشغيل الملائم. وعلى كل الأحوال، طالما ظل اختلاف الضغط عبر الجانب القادم من منبع تيار التدفق والجانب المتجه مع مصب تيار التدفق في حاقنة الفنتـــوري، أكبر من ٢٠٠ كيلوبسكال، نجد أن معدل تدفق الحقن يكون غير حساس نسبياً لضغط خطوط أنابيب الري. وهذا الوضع يسبب الحد الأدنى من الضغط داخل عنق حاقنة الفنتوري والذي هو أعلى قليلاً من صفر الضغط المطلق. أما اختلاف الضغط والذي عنده يبلغ كل نظام حقانة الفنتوري حدّاً أدنى له، فيمكن ملاحظته على معدل التدفق المصنعي مقابل منحنيات اختلاف الضغط. وإذا كان الأمر يتطلب وجود معدل تدفق ثابت لحقن المواد الكيماوية طوال العملية، ومن ثم لابد من الإبقاء على

فرق ضغط مرتفع عبر أرجاء الڤنتوري، أو يتم استخدام مضخة طرد مركزي من أجل تعزيز الضغط في خط الأنابيب الثانوية لنظام حقن الڤنتـــوري. ونظام شبكة الأنابيب الموضح في الشكل رقم (١٩,١) ليس ملائماً للمعايرة الدقيقة ومعدل الحقن الثابت. ومن ثم، فإن نظم حقن الڤنتوري يمثل كذلك أداة منظمة للضغط من أجل تحقيق سيطرة أكثر إحكاماً على معدلات الحقن.

ويمكن لمعدل تدفق حاقنة الڤنتـــوري أن يكون حساساً تماماً لتغيرات درجة الحرارة، لأن لزوجة بعض المواد الكيماوية يمكن أن تتغير بشكل كبير مع تغير درجة الحرارة. وعلى سبيل المثال، يمكن للتغير في معدل تدفق الحقن أن يقع في المدى ما بين ٥٪ و١٠٪ في نطاق درجة حرارة يبلغ ٢٠ درجة مئوية مع الأسمدة اللزجة نسبياً مثل UAN32 أو CAN17. وعلى كل الأحوال، ليس هناك بشكل أساسي من تغير في معدل التدفق نتيجة لتغير درجة الحرارة وذلك مع المحاليل الكيماوية ذات قيم اللزوجة التى تقع في نطاق لزوجة الماء؛ لأن قيم اللزوجة تلك والتي تتغير مع تغير درجة الحرارة هي أقل ما يمكن. وحين تكون قيمة لزوجة المادة الكيماوية مسألة مهمة، فإن إحدى الطرق الجيدة لإبقاء التدفق ثابتاً مع التغير في درجة الحرارة هو استخدام نظام تحكم مع تغذية ارتجاعية من مجس التدفق.

ومن المهم أيضاً أن ندرك أن سعة السحب تعتمد على منسوب السائل في خزان الإمداد. فمع هبوط منسوب السائل، يزيد ضاغط السحب مما ينتج عنه انخفاض في معدل الحقن. ولتفادي مثل هذه المشكلة، يقوم بعض الصناع بتوفير خزان صغير إضافي على جانب خزان الإمداد، حيث يقوم صمام يعمل بعوامة بالإبقاء على منسوب المائع ثابتاً. ويتم حقن المائع من هذا الخزان الإضافي الأصغر.

ومعيار الحقن في كثير من الأحيان هو معرفة حجم المادة الكيماوية المطلوب ضخها خلال فترة محددة لكل منطقة ري، ولكن التركيز لا يحتاج لأن يظل ثابتاً. وأحد البدائل الشائعة الاستخدام مع نظم الري التي تعمل بالضغط، هو توليفة من جهاز حقن الڤنتوري مع خزان مواد كيميائية المضغوط. وحيث إن الماء المتدفق من خزان يقع

تحت ضغط، فإن الأمر يتطلب استخدام خزان إمداد ضغط مغلق ومحكم الإغلاق (مبني بحيث يصمد أمام الحد الأقصى لضغط التشغيل). وعلى كل الأحوال، فإن التركيزات المحقونة سوف تتغير بشكل تدريجي نتيجة لتخفيف المادة الكيماوية في الخزان مع دخول الماء إلى الخزان أثناء الحقن.

(١٩,٣,٥) نظم الحاقنات ذات فرق الضغط

الحاقنات ذات خزانات الخلط، والخلاطات التناسبية التي توضع على جانب التصريف في مضخة الري، هما اثنان من نظم الحاقنات ذات فرق الضغط المعتمدة. ويتم استخدام العديد من صمامات المعايرة أو صمامات التناسب مع خزانات الخلط، وخزانات التناسب، والعاملة وفقاً لتغيرات الضغط أو التدفق في نظام الري. وبشكل متواتر، تعتبر هذه الأجهزة تطبيقاً لمقياس الفوهة أو مقياس الفنتوري ذي القطر المتغير.

واستخدام خط السحب لأنابيب الري هو طريقة حقن غير معتمدة قانونياً في أغلب المناطق القضائية. والسبب في ذلك هو أنه من الصعب منع تلوث مصادر الماء السطحي في حالة حدوث إغلاق غير متوقع للمضخة. ومن ثم يمكن سحب المادة الكيماوية بسهولة خارج الخزان وإلى داخل مصدر الماء. ومن الصعب كذلك مراقبة أو تحديد معدل تدفق المادة الكيماوية، حيث إنه يعتمد على مقدار سحب المضخة عند نقطة الحقن، وطول وقطر خط السحب، ومنسوب المادة الكيماوية في خزان الإمداد. وكذلك من الصعب ضبط معدل الحقن في هذه الأنظمة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المحلول الكيميائي يتم سحبه من خلال المضخة ويمكن له أن يتسبب في تآكل كبير وتلف لسدادات الإحكام وكراسي التحميل. وهذا الأسلوب من الحقن غير مستحسن.

الحاقنات ذات خزانات الخلط تعمل على جانب التصريف من المضخة الرئيسة، كما تعمل على ذات المفهوم التفاضلي للضغط كما في نظم حقن الفنـــوري. وهذه الحاقنات يتم تركيبها على تحويلة فرعية تسير بشكل مواز لخط الري الرئيس. وعلى كل الأحوال، فإنه في تلك الأنظمة البسيطة المنخفضة الدقة يتم إحكام خزان المواد الكيماوية بختم إحكام، بدلاً من تنفيثه على الهواء الجوي. ويدخل الماء القادم من الخط

الرئيس إلى الخزان فيزيح نفس القدر من الخليط الكيميائي إلى داخل نظام الري. وينتج عن ذلك انخفاض متواصل في التركيز الكيميائي في الخزان، مما يتطلب أن يتم تجهيز مخاليط كيميائية معينة لكل منطقة للتأكد من أن كل منطقة تنال المقدار الصحيح تقريباً من الخام. وغالباً ما يتم التحكم في عملية الحقن إلى داخل الخط الرئيس بواسطة أداة معايرة مركبة على جانب مدخل الحاقنة.

أما الخلاطات التناسبية فما هي إلا تعديل لخزانات الخلط ذات الضغط، وتعمل اعتمادا على مبدأ إزاحة مقدار من الماء. وهي شائعة الاستخدام في نظم الري المتوقع فيها حدوث تغيرات في معدل التدفق، ربما نتيجة لتفاوت حجوم الأطقم أو لتفاوت الماء المشارك فيه مستخدمان آخران. أما المادة الكيماوية المركزة الكافية لدورة حقن واحدة فيتم احتواؤها في كيس غير نفاذ قابل للطيّ يوضع في خزان الضغط. وتظل المادة الكيماوية منفصلة عن الماء، وتعمل على تلقيم محلول كيماوي إلى داخل صمام التناسب الذي يحقن المحلول إلى داخل نظام الري. ويتم دفع المواد الكيماوية التي بداخل الكيس إلى داخل صمام التناسب من خلال اختلاف الضغط، وحقنها إلى داخل نظام الري. وتتم إزاحة مقدار المادة الكيماوية بواسطة الماء الداخل إلى الخزان بنفس معدل حقن المادة الكيماوية. وهذا الماء المركب لا يختلط بالمادة الكيماوية ولا يعود إلى داخل النظام. ويكتمل الحقن حين ينطوي الكيس تماماً ويصير الخزان مملوء بالماء. ويستجيب صمام التناسب للتغيرات الحادثة في معدل التدفق، ولكنه لا يستجيب للتغيرات الحادثة في ضغط نظام الري. ومن ثم، طالما أن كلا من الضغط ومعدل التدفق في النظام لا يتغيران بشكل ملحوظ، فإن معدل الحقن سوف يظل ثابتاً بشكل نسبي. ولإدخال كيس جديد من المواد الكيماوية يتم عزل الخزان بواسطة الصمامات وتصريفه.

(٩,٣,٦) تشغيل وصيانة نظم الحقن

مما يوصى به بشدة أن تقوم نظم الحقن باستخدام إحدى الطرق (الميكانيكية أو السائلة) لبدء تحريك خزان إمداد الحاقنة لإبقاء المواد الكيماوية في صورة محاليل، لاسيما عند التعامل مع الكثير من مبيدات الآفات، والمواد الكيماوية الجافة. وبالإضافة

إلى ذلك، إن لم يتم استخدام خزانات الأسمدة الكبيرة لفترات مطولة، يمكن عندئذ للأسمدة القابلة للذوبان في الماء أن تتراكم في قاع خزانات التخزين نتيجة لفروق الكثافة، مما ينتج عنه فروق كبيرة في تركيزات الأسمدة خلال دورة الحقن. وأيضاً، نجد أن نسب التخفيف الأعلى من ١ : ٢٠٠ تحتاج إلى التحريك حيث إن السماد قد لا يتحلل بشكل كامل نتيجة لتجاوز حدود قابلية المادة الكيماوية للذوبان.

والممارسات التالية يوصى بها في معظم الأنظمة:

• لابد من عمل الحقنات الكيميائية في وسط تيار ماء (أي في مركز قطر الأنبوب)، كلما أمكن، من أجل الحصول على مزج أفضل.

• المحافظة على أنبوب السحب للحاقنة أقصر ما يمكن (١,٥ م أو أقل).

• لابد لخرطوم السحب على الحاقنة من أن يحتوي أيضاً على مصفاة لمنع المواد المترسبة وغير القابلة للذوبان في الماء من الدخول إلى الحاقنات ونظام الري.

• ينبغي تغطية خزان التخزين لمنع تراكم الطحالب و/أو البقايا، أو لمنع التلوث، أو لمنع التبخر من المحلول المخزّن.

• يجب أن تكون خزانات التخزين معتمة، حيث إن بعض العناصر الحلقية الاتحاد مع الفلزات في بعض أسمدة التغذية الدقيقة، تميل إلى التفكك إذا ما تعرضت للضوء.

• لا يجب للحاقنات أن تتعرض لدرجات حرارة التجمد حيث قد ينتج عن ذلك تصدعها أو انبعاجها.

• يجب أن يتم استبدال أنابيب السحب والتصريف بشكل منتظم (مثلاً كل عامين اثنين).

• ينبغي تعليق مصافي الماء الداخل على بعد من ٧ إلى ١٠ سم (٣ إلى ٤ بوصات) من قاع خزان المحلول لتجنب سحب مادة مركزة غير مخففة لأعلى.

• يجب حقن ماء نظيف في أعقاب الاستخدام من أجل غسيل النظام بالدفق.

• يجب تنظيف خزانات المحاليل بشكل منتظم (مرة كل أسبوع أو كل أسبوعين، اعتماداً على تكرارية الاستخدام) وذلك لمنع تراكم القاذورات والرواسب والتي قد تتسبب في انسداد أو قشط الحاقنات.

• يجب تنظيف مصافي أنابيب السحب باستخدام ماء نظيف صاف مع التفتيش عليها بشكل دوري لاكتشاف الانسداد و/أو الشقوق.

• يجب التفتيش على حلقات الخدمة الدائرية. ولا يجب استخدام أي من زيوت التشحيم البترولية مثل الفازلين، أو اللانولين، أو WD-40، أو زيوت المحركات، أبداً على المكابس أو الأختام الموزعة للجرعات.

(١٩,٤) معايرة نظم الحقن

إن التوازن بين معدل تدفق المواد الكيماوية المحقونة ومعدل تدفق مياه الري هو أمر شديد الأهمية من أجل الحصول على شكل ملائم لعملية الري الكيميائي. فإذا ما كان هناك القليل جداً من الماء في خليط الماء والمادة الكيماوية، سيكون هناك توزيع غير متساو للمادة الكيماوية، مع وجود تطاير عال (فقد كيميائي)، أو وجود تراكم كيميائي في خطوط أنابيب الري. ومن جهة أخرى، وجود الكثير جداً من الماء في الخليط الكيميائي سينتج عنه تخفيف محتمل للمادة الكيماوية فيما دون قيم التركيزات الفعالة، أو ينتج عنه فقد المادة الكيميائية المستخدمة في المياه الجوفية (Smajstrala *et al.*, 1986; Clark *et al.*, 1998; Scherer *et al.*, 1999; Werner, 2002; Evans and Waller, 2007).

وبناء عليه، فإن معايرة معدل تدفق الحاقنة أمر مهم للغاية. ففي هذه العملية يتم تحديد كمية المادة الكيميائية المحقونة باستخدام إعدادات مختلفة. والمعايرة الدورية خلال موسم الري هي أمر مطلوب للتأكد من أن الحاقنة تعمل بشكل لائق. وطرق المعايرة تركز إما على تحديد معدلات الحقن وفقاً للكتلة أو الحجم الكمي، وهي مستقلة عن التركيزات التي يجب أن يتم تحديدها بشكل منفصل. وقد يتم إجراء بعض

التعديلات من خلال ضبط معدل الحقن (مثل حاقنة الڤنتوري)، أو من خلال ضبط تركيز محلول تخزين المادة الكيماوية.

وهناك طرق عديدة لمعايرة نظم الحقن اعتماداً على نوعية النظام والمادة الكيماوية المستخدمة. والكثير من المواد الكيماوية يتم توفيرها إما كنسبة مئوية من وزن مزيج جاف أو سائل. ولهذا، فإن كتلة المزيج الكيميائي المطلوب ستعتمد على تركيز المادة الكيماوية الخام في المزيج. وعند توافر المادة الكيماوية في صورة سائلة، كما هو الحال دوماً في عملية الري الكيميائي، يكون من المريح أكثر أن نقيس الحجوم بدلاً من قياس الكتل أو الأوزان، ومن ثم فإن المعايرة الحجمية هي الأكثر شيوعاً. ولابد لدليل تشغيل نظام الحقن من أن يوصي بطرق اختبار حاقن محدد.

أما بالنسبة لخزانات الإمداد التي يتم تنفيثها على الهواء الجوي، فمن الممكن معايرة الحاقنات بواسطة خزانات موازنة ذات كفتين أو خلايا تحميل. وهذا الإجراء هو نفسه الموصى به مع نظم حقن المواد الكيماوية الغازية. وحيثما تصبح أساليب العمل الأخرى غير عملية، يمكن عندئذ لتقنيات التتبع بالفلوريسنت أن تكون وسيلة دقيقة لمعايرة الحاقنات.

ومعدل الحقن لمضخة حقن المواد الكيماوية لمكان معين لابد من أن يتم تحديده من أجل تجهيز معين لمقبض التحكم في معدل الحقن، مع تشغيل نظام الري، ومن ثم تعمل مضخة الحقن تعمل على خطوط أنابيب ضغط الماء. وعدا ذلك، فإن معدل الحقن المجرب سيكون أعلى منه حين تكون مضخة الحقن بصدد الحقن داخل خطوط أنابيب الري تحت ضغط الماء. ولابد من إجراء المعايرة عند ضغط ثابت في ظل وجود ماء نظيف بدون أي مواد كيماوية. كذلك لابد من أن يتم تشغيل الحاقنة قبيل الاختبار لإزالة أي فقاعات هواء في خطوط الأنابيب.

والمعايرة الحجمية تعتمد على ترك مضخة الحقن تسحب من حاوية مدرّجة على جانب السحب من مضخة الحاقنة. وبشكل اعتيادي، يتم استخدام أنبوب قراءة مدرّج

لتحديد الحجم المستخرج من خزان الإمداد بالمواد الكيماوية. وكذلك قد يتم استخدام عدادات تدفق على خطوط الحقن وذلك للإشارة إلى معدلات تدفق الحاقنة الحجمية.

وحجم الماء المحقون يتم قياسه عبر فترة زمنية محددة في كل دورة حقن محددة (عادة ما يتم التعبير عنه على قرص مراقبة في صورة رقم) من أجل التحديد المسبق لمقدار الماء (مع التأكد من أن الحجم ملائم للحاوية). ولابد أن يتم ملء الحاوية حتى حجم معين. ويتم بدء تشغيل الحاقنة مع ساعة إيقاف أو مؤقّت في وقت متزامن. ويتم تسجيل الوقت، وضغط خط الأنابيب، والحجم، عندما ينخفض الحجم في الحاوية بالمقدار المحدد سلفاً. ويتم تكرار هذه العملية من أجل الوصول إلى قيم إعدادات مختلفة على قرص المراقبة. وهناك بعض الاعتبارات الخاصة الثابتة، وذات الحركة المتواصلة، ونظم الري السطحي.

(١٩,٤,١) نظم الري الثابتة

نظم الري الثابتة تشمل الرشاشات المتحركة باليد وبالعجلة، ومجموعة الرشاشات الثابتة بشكل دائم، ونظم الري الدقيق (وتشمل المنقطات والرشاشات الصغيرة). وعملية الري الكيميائي مع نظم الري الثابتة هي عملية بسيطة نسبياً إذا كانت عملية الري الكيميائي تبدأ وتنتهي في غضون مدة وحدة ري واحدة مع تطبيق المادة الكيماوية على منطقة معينة. والتطبيق من خلال نظم الري بالرشاشات سيكون منتظماً بشكل مكاني فقط لتداخل نمط تطبيق الماء. ويتم تكرار الحقن بنفس المعدل والفترة الزمنية لكل وحدة ري إلى أن يتم تغطية كامل الحقل.

وتطبيقات الري الدقيق بوجه عام لا تحظى بتداخل من أدوات تطبيق الماء المجاورة، وتعتبر الانتظامية بمثابة دالة مع الزمن ومعامل الانتظامية للأدوات المنفردة. وفي ظل تحكم جيد، يكون هذا الأمر عالي الكفاءة بشكل كبير، مع وجود نسب فاقد قليلة؛ لأن جذور النباتات تكون نمت عبر الوقت حتى تتمكن أن تنتفع بشكل كامل من الماء المضاف والمواد الكيماوية المضافة في الحيز المبلل من التربة.

وبعض النظم الحديثة للري الدقيق بها أنابيب فرعية طويلة وذات أقطار كبيرة لمنع فاقد الاحتكاك المفرط. ومن ثم فإن انتظامية تماثلية ومدة عملية الري الكيميائي تصبح أموراً صعبة بوجه خاص بسبب طول الفترة الزمنية التي يستغرقها الماء والمادة الكيماوية للوصول إلى آخر المنقطات.

(١٩,٤,٢) نظم الري ذات الحركة المستمرة

نظم الري ذات الحركة المستمرة تشمل نظم الري المحوري، ونظم الحركة المستقيمة، والنظم المدفعية. ومع هذه النظم لابد للحقنات أن تكون ذات تركيز ثابت خلال دورة الري بالكامل للتأكد من أن نفس مقدار المادة الكيماوية يتم إضافته على الحقل بالكامل. فإذا ما كان المعدل يتغير مع تحرك الآلة، فإن التغيرات في إضافات المادة الكيماوية ستتفاقم. فلابد من معايرة معدل الحقن بحيث يكون التطبيق الكامل مستمراً طوال فترة عملية الري (مثلا: لدورة واحدة كاملة). فالمزارع لا يرغب في أن تفرغ منه المادة الكيميائية قبل نهاية عملية الري، كما أنه لا يرغب في الإضافة الزائدة للمادة على الأراضي التي تم من قبل تغطيتها في هذه الرية.

ومدافع الرش الطرفية، ونظم الأركان، تعتبر تحديات فريدة من نوعها فيما يخص عملية الري الكيميائي. فتشغيل مدفع الرش الطرفي المتقطع، ومعدلات تدفق نظام الري المتفاوتة، مع تأرجح النظام الركنيّ بين الخروج والدخول، هي أمور تعمل مرة أخرى على تغيير معدلات تدفق الحقن كما أنها تؤثر على الضغط وانتظامية الإضافة. وفي مثل هذه الحالات، نجد أن عملية الري الكيميائي تنتفع بشكل شائع من نظام التحكم في التغذية الارتجاعية لعدّاد التدفق مثبت إلى المستبين (جهاز البيان) الزاويّ عند المحور (خلال لوحة التحكم) و/أو نظام تحديد المواقع GPS، من أجل تنظيم معدلات الحقن مع تغير معدلات تدفق نظام الري. ولابد لعملية معايرة نظام الحقن من أن تراعي كامل نطاق معدلات التدفق، والخصائص المميزة لاستجابة المضخة، مع تغير كل من التدفق والضغط. ويتم إيقاف تشغيل مدافع الرش الطرفية في مناطق معينة من الحقل للحيلولة دون المشكلات المحتملة التي تضر بالسلامة والبيئة.

(١٩,٤,٣) التحقق من معدل الحقن

بمجرد أن تبدأ عملية الري الكيميائي الفعلية، لابد من إعادة التحقق من معدل الحقن، وإعادة ضبط العدّاد (إن كان ضرورياً) على الأقل مرة واحدة خلال عملية الري الكيميائي. ومؤشر التدفق الذي يتم تثبيته إما على أنابيب السحب، أو أنابيب المخرج في الحاقنة، هو أداة تشخيص مميزة. فبعضها سيسمح للمزارع بمجرد لمحة بأن يقول ما إذا كانت المضخة تعمل بشكل سليم أم لا.

وهناك العديد من أنواع مقاييس التدفق لقياس معدلات حقن المواد الكيماوية، وتشمل العدّادات متغيرة المساحة (وتسمى ذات الأنبوب مستدق الطرف أو الدوّارة)، والإزاحة الموجبة، وذات ذراع التحريك، وأنبوب بيتوت، والعاملة بالموجات فوق الصوتية، وعدّادات التدفق الكتلي. ولكل نوع منها سماته الخاصة، وهناك نطاق واسع لتكلفتها. فأما العدّادات متغيرة المساحة فتتفوق بمزايا متعددة على أنواع أخرى أكثر تكلفة وتقنية منها، مما يجعلها العدّادات المختارة لكثير من تطبيقات قياس تدفق المواد الكيميائية. وبعض الصناع يقومون بتوفير العديد من مؤشرات التدفق باعتبارها معدات قياسية.

ومن بين المؤشرات الأخرى لمخرج حاقنة الأسمدة، نجد قياس التوصيل الكهربائي (EC) لمحلول السماد المخفف. ويمكن الحصول على تقييمات جيدة لتركيزات السماد باستخدام مقياس التوصيل الكهربائي EC المحمول حيث يتم إضافة الماء في الحقل. وكذلك فإن الأجهزة الثابتة لقياس التوصيل الكهربائي EC والتي تقوم كذلك بقياس الرقم الهيدروجيني pH يمكن تركيبها على مسافة مناسبة مع اتجاه تيار تدفق نقطة الحقن. ومن آن لآخر، يمكن أن يتم تحليل تركيز عينة من مزيج الماء والسماد بواسطة معمل تحاليل حسن السمعة.

(١٩,٥) الاعتبارات الخاصة بنظام الري

إن تصميم وتشغيل نظم الري سيؤثران علي فعالية نظام الري الكيميائي. فهناك العديد من الخصائص التشغيلية الواجب مراعاتها، لكن الشاغل الرئيس هنا هو انتظامية

التوزيع في النظام. ومن المستحيل عملياً تحقيق انتظامية إضافة جيدة للمواد الكيميائية إذا لم يكن قد تم تصميم نظام الري ليعمل بانتظامية عالية. ونظم الري المحورية منخفضة الأنابيب، ونظم الري بالتنقيط/بالنزّ، توفر جميعها أفضل انتظامية ممكنة، أما نظم الري بالرش، والرش المدفعي فهي عرضة للانجراف بفعل الرياح، ولاختلافات الضغط، وتداخل النباتات، وهو ما يتسبب في الغالب في خفض الانتظامية الممكن تحقيقها.

(١٩,٥,١) الخصائص المميزة لنظام الري

إن الخصائص الفيزيائية لنظام الري ستعمل على تحديد نوعية نظام الحقن، واختيار المواد الكيماوية التي يمكن استخدامها، ومعدل التطبيق، ومدة التطبيق.

ونظم الري هي إما ثابتة، أو مستمرة الحركة، والنظم الثابتة فتشمل، نظم الخطوط اليدوية، والمدفوعة بالعجلات، وذات الرشاشات ثابتة الوضع، والتّنقيط، والرشاشات الصغيرة. وهذه النظم تعمل على ري قطعة من الأرض بمعدل إضافة ثابت عبر الزمن. ومن ثم يمكن مزج مخاليط من المواد الكيماوية وتطبيقها أثناء فترة الري، وطول مدة التطبيق ستتحدد بناء على نوعية المواد الكيماوية التي يتم توزيعها. فبعض المواد الكيماوية لابد من أن يتم دمجها حتى تكون فعالة، مما يتطلب استخدام ماء كاف لتحريك المادة الكيماوية إلى داخل التربة. وهناك مواد كيماوية أخرى مثل نترات النيتروجين هي متحركة للغاية وينبغي تركها قرب سطح التربة لتفادي التلوث المحتمل للمياه الجوفية. أما المواد الكيماوية المستهدف تطبيقها على أوراق النباتات فينبغي أن يتم إضافتها فقط بواسطة نظم الرشاشات العلوية خلال نهاية كل دورة ري مع استخدام القدر الأدنى من الغسيل بالدفق.

أما نظم الري ذات الحركة المستمرة فتشمل، نظم الري المحورية، وذا الحركة المستقيمة، والمدفعي المتحرك، ونظم الري ذات العوارض العلوية المستخدمة في عمليات المشاتل والبيوت المحمية. وهذه النظم تقوم بري قطعة من الأرض بمقدار محدد سلفاً من الماء، ولكن بمعدلات إضافة متفاوتة (حيث سيكون معدل الإضافة عند البرج الأخير، لا سيما في تلك النظم التي تستخدم مدافع الرش الطرفية، أكبر من معدل

الإضافة عند نقطة المحور). ومن ثم لابد لمعدل حقن المواد الكيماوية أن يتوافق مع معدل الحركة. ولا يمكن استخدام مخاليط المواد الكيماوية مع مثل نظم الري تلك.

والجدول رقم (١٩,١) يقدم إرشاداً عاماً حول الانتظاميات التي يمكن تحقيقها، واعتماداً على التصميم، وطريقة التركيب والتشغيل فإن بعض النظم يمكن تصنيفها على أنها أعلى أو أقل مما هو موضح بالجدول. والفصل الخامس يوفر معلومات أكثر تفصيلاً حول انتظامية نظم الري.

ولابد لكافة مكونات النظام من أن تكون قادرة على الصمود أمام آثار التآكل بفعل المواد الكيماوية القاعدية والحامضية المحقونة بالتركيزات المتوقعة عند كل موضع. ومن ثم عليك بمراجعة جداول توافقية الخامات، وقُم بالتوفيق بين الخامات والمواد الكيماوية. فعلى سبيل المثال، نجد أن حمض الكبريتيك المركز لا يتوافق مع الأنابيب المصنوعة من مادة البلاستيك القاسي PVC، وأنه سرعان ما سيتسبب في وضع محفوف بالخطر، لكن مادة البلاستيك القاسي PVC تكون مقبولة حين يتم تخفيف الحمض بشكل كبير. وكقاعدة عامة، نجد أن المكونات المعدنية غير المطلية (فيما عدا الصلب المقاوم للصدأ "الاستنلس ستيل") ينبغي أن يقل استخدامها قدر المستطاع.

الجدول رقم (١٩,١). انتظامية نظم الري.

نظام الري	الانتظامية
المتحرك على عجل	مقبولة
الخطوط المتحركة يدوياً	مقبولة
الرشاشات ثابتة الوضع المثبتة أعلى الأشجار	مقبولة
الرشاشات ثابتة الوضع المثبتة أسفل الأشجار	ضعيفة
الرشاشات ثابتة الوضع المدفعية	ضعيفة
الرشاشات الصغيرة	مقبولة
الرش المدفعي المتحرك	ضعيفة
الري المحوري	جيدة
النظم السطحية	ضعيفة
التنقيط/النز	جيدة

(١٩,٥,٢) الاعتبارات الخاصة بالموقع

إن قرب نظام الري من المباني السكنية، والمحاصيل المجاورة، وشبكات الطرق، وساحات اللعب، والمناطق السكنية، ومصادر المياه السطحية مثل الترع والجداول والبحيرات، هو أمر لابد من أخذه بعناية في الاعتبار. فلابد من مراعاة سلامة الأفراد، والحياة البرية، والحيوانات الداجنة، وغيرها من المناطق غير المستهدفة.

(١٩,٥,٢,١) التضاريس

إن تضاريس الحقل يمكن أن تتسبب في اختلافات في الضغط عبر امتداد طول الخطوط الفرعية للري، مما يؤثر على انتظامية التوزيع. ونظم الري المحورية منخفضة الضغط، ونظم الري بالتنقيط هي الأكثر عرضة للاختلافات في الضغط التي يسببها الفاقد نتيجة المنسوب أو الاحتكاك. وكذلك فإن نظم الري بالرش يمكن أن تتأثر إذا كانت التغيرات في المناسيب تزيد على ٥ م. ويتطلب الأمر استخدام منظمات للضغط أو للتدفق على كل رشاش منفرد على امتداد طول الخط الفرعي للري. ويوصى باستخدام المنقطات الموازنة للضغط، للمحافظة على انتظامية النظام في نظم الري بالتنقيط.

(١٩,٥,٢,٢) المحصول

إن نوعية المحصول المزروع غالباً ما تحدد نوعية نظام الري الذي سيتم استخدامه. فنظم الري بالتنقيط غالباً ما يتم استخدامها مع محاصيل أشجار الفاكهة، والأعناب، وثمار الفراولة، وغيرها من المحاصيل البستانية، بسبب كفاءتها في إضافة الماء وقدرتها على التحكم في إضافة السماد بشكل مباشر إلى جذور النباتات (Doerge *et al.*, 1991; Burt *et al.*, 1995; California Fertilizer Association,1995; Rosen and Eliason, 1996). أما المحاصيل البستانية عالية الكثافة، فتحتاج إلى حدوث استجابة سريعة للشجرة بعد غرسها، وإلى نمو مبكر للثمار لتحقق عائداً استثمارياً. وعلى أي حال، فإن حقن بعض مبيدات الآفات الزراعية خلال نظام الري بالتنقيط لا يكون فعالا.

أما التوت البري ومحاصيل العلف فتناسبها بشكل جيد نظم الري بالرش. أما نظم الري بالرشاشات العلوية ونظم الري بالرشاشات المثبتة أسفل الأشجار، فيشيع استخدام كليهما في ري البساتين وكروم العنب وذلك لأسباب متنوعة. فأنظمة الري بالرشاشات العلوية، والمستخدمة للري، أو الوقاية من الصقيع، أو لتبريد المحصول على ثمار الأشجار أو ثمار التوت البري، يمكن تكييفها لعملية الري الكيميائي. ولابد من تحقيق حد أدنى لانتظامية التوزيع يبلغ ٨٠٪.

أما نظم الري المحورية، ونظم الري العلوية بالرشاشات ذات الحركة المستقيمة فيشيع استخدامها مع محاصيل الذرة والأعلاف، ولكن يمكن استخدامها مع أي محصول شريطة أن تكون الحقول كبيرة بما يكفي لاستيعاب المحور.

(١٩,٥,٢,٣) نوع التربة

إن أقصى معدل تسرب للماء خلال التربة والسعة التخزينية للماء المتاح في التربة، هي أمور تختلف باختلاف نوعية التربة. ويمكن لنوعية التربة أن تختلف بشكل كبير عبر كامل نطاق حقل واحد، مما يستلزم تغييراً في تشغيل نظام الري. فالتربة الخشنة يكون لها معدلات تسرب عالية ومع ذلك لا يمكنها إلا تخزين القليل جداً من الماء في نطاق حيز الجذور. وفي المقابل، نجد أن التربة الناعمة، يمكنها تخزين مقادير كبيرة من الماء، وإن كان لها معدلات تسرب منخفضة. ومن ثم فإن معدلات الإضافة العالية مع التربة الناعمة تزيد من إمكانية حدوث عملية الجريان السطحي، في حين أن مقادير الري الزائدة مع التربة الخشنة، تزيد من إمكانية تسرب المواد الكيماوية أسفل حيز جذور المحصول وإلى داخل المياه الجوفية.

ونظم الري الكيميائي، لابد أن يتم تشغيلها في حدود نوع التربة الموجودة، وذلك لتقليل إمكانية حدوث أي من الجريان السطحي، أو التسرب. وكذلك فإن فهم قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء هو أمر مهم للتأكد من أن المادة الكيماوية المضافة يتم تحريكها إلى عمق مناسب داخل التربة بالنظر إلى حجم المجموع الجذري للنبات.

(١٩,٥,٢,٤) الانجراف، والجريان السطحي المحتمل

إن عمليتي الانجراف والجريان السطحي، هما مسببان من المسببات الرئيسة للفقد فى المواد الكيماوية فى نظم الري الكيميائي.

ويمكن لعملية التسرب أيضاً أن تكون من مسببات الفقد فى المواد الكيماوية. والظروف البيئية أثناء التطبيق، ونوعية الرشاشات، ونوعية المادة الكيماوية المستخدمة، والظروف المناخية بعد التطبيق، تؤثر جميعها في حجم ومقدار الفقد في المواد الكيماوية.

والماء المتصرّف من بعض فوهات الرشاشات تحت الضغط يظهر في صورة رذاذ دقيق. ومقدار الانجراف المادي سيعتمد على، نوع الرشاشات، وضغط النظام، وسرعة الرياح، وارتفاع وكثافة المحصول. وجزء من الرذاذ يتبخر في إطار المنطقة المبللة، تعترضه النباتات والتربة، أو تحمله الرياح إلى خارج المساحة المستهدفة. والانجراف بفعل الرياح يمكن أن يتسبب في وضع محفوف بالمخاطر فعلياً. ومن ثم لا يجب أن يتم إجراء عملية الري الكيميائي إن كانت ظروف الرياح قوية بما يكفي لإحداث انجراف واضح باتجاه المناطق غير المستهدفة. وهناك بعض العلامات التجارية لبعض مبيدات الآفات، والتي تحمل عبارات تحظر تطبيق استخدام تلك المبيدات حين تتجاوز سرعات الرياح حدّا معيناً.

وكثير من نظم الري المحورية ستقوم بإغلاق مدفع الرش الطرفي بينما هي تتحرك حول أرجاء الحقل وذلك لتفادي تطبيق الماء على الطرق أو المباني أو الممرات المائية. وفى مثل هذه الحالات، غالباً ما يتم إغلاق مدفع الرش الطرفي خلال عملية الري الكيميائي بالكامل وذلك لتفادي التغيرات الحادثة في ضغط النظام حيث إن مدفع الرش يدور داخل أو خارج مختلف مناطق الحقل، لأن ذلك يمكن أن يسبب انتظاميات سيئة على امتداد طول الخط الفرعي بالكامل. والجمع بين الضغوط العالية، والقطرات الصغيرة الناتجة، ومدافع الرش الطرفية التي يتم تعليقها على ارتفاع ما بين ٣ إلى ٤ م

مباشرة أعلى الخط الفرعي، هو أمر يخلق فرصة أكبر لحدوث انجراف للمواد الكيماوية، فيما وراء منطقة التطبيق المستهدفة.

أما عملية الجريان السطحي فتعتمد ليس فقط على معدل إضافة نظام الري، وعلى معدل التسرب للتربة، لكنها تتأثر كذلك بعوامل مثل ميل الحقل، والمجموع الخضري السطحي، وكثافة المحصول، ورواسب سطح التربة. ونظم الري التي تقوم بتطبيق استخدام المواد الكيماوية لابد من أن يتم تصميمها وتشغيلها بحيث تحول دون حدوث أي عملية جريان سطحي. وبعض المناطق ستحتاج لأن يتم احتواء عملية الجريان السطحي قبل أن تغادر حدود ملكية الأرض أو منطقة الاستخدام. ويستدعي الأمر إعادة استخدام الماء المعالج على المحصول أو الموقع المعالج. وتعمل القيود الواردة على بطاقة العلامة التجارية للمادة الكيميائية المستخدمة على حظر استخدام الماء المعالج على محاصيل أو مواقع غير المدرجة على بطاقة العلامة التجارية للمادة الكيماوية.

(١٩,٥,٣) الاعتبارات الخاصة بتصميم نظم الري بالرش

إن نظم الري بالرش والمستخدمة لإضافة المواد الكيماوية، ينبغي أن يتم تصميمها بمعامل انتظامية يبلغ على الأقل ٨٠٪ ومن المفضل أن يبلغ ٩٠٪ إن أمكن. وحتى بالنسبة للانتظاميات البالغة ٩٠٪، نجد أن نسبة عمق الري المستخدم في أحد أجزاء الحقل مقارنة بجزء آخر يمكن أن تكون عالية حتى ٣ : ١. ويمكن فقط الحصول على معامل انتظامية يبلغ ٨٠٪ من خلال تصميم نظم الرش وفقاً لمعايير الحد الأدنى التالية :

• الحد الأقصى للاختلاف في الضغط على طول الخط الفرعي لا يجب أن يتجاوز ٢٠٪ من ضغط تشغيل الرشاش، ويفضل لاختلاف الضغط أن يبلغ ١٠٪ (أو أقل). ولابد من استخدام فوهات للتحكم في التدفق إذا ما تجاوزت فروق الضغط قيمة ٢٠٪. ومن الخيارات الأخرى استخدام منظمات الضغط عند حوامل الرشاشات التي تعمل عند ضغوط تتجاوز ضغط التشغيل الطبيعي.

• بالنسبة لنظم الرش الثابتة، نجد أن المسافة بين الرشاشات على طول الخط الفرعي، والمسافة بين الخطوط الفرعية نفسها لا يجب أن يتجاوز ٥٠٪ من قطر البلل للرشاش. وإذا كانت سرعة الرياح السائدة تتجاوز ٥ كم/ساعة، فينبغي خفض المسافات إلى نحو ٤٠٪ من القطر البلل.

• ويجب أن يتم تشغيل الرشاش وفقاً للضغط الذي يوصي به الصانع، وذلك لتوفير تفتيت ملائم لمسار دفق الماء من أجل التوزيع السليم.

• ويجب للرشاش أن تكون له نوبة دوران أقل من ١ دقيقة، وأن يتم تشغيل النظام لنحو ١٥ دقيقة على الأقل عند إجراء عملية الري الكيميائي لتحسين الانتظامية.

(١٩,٥,٤) الاعتبارات الخاصة بتصميم نظام الري الدقيق

نظم الري الدقيق تشمل نظم الري بالنز أو بالتنقيط والتي تقوم بإضافة مياه الري بشكل مباشر إلى التربة المحيطة بجذور النبات بدلاً من إضافتها على الحقل بأكمله. وكافة نظم الري الدقيق ينبغي أن يتم تصميمها بحيث يكون في الإمكان حقن المبيدات الحيوية، والأسمدة، وغيرها من المواد الكيماوية، وإضافتها بشكل منتظم خلال نظام الري. ويقدم الري الدقيق بطبيعته منافع عظيمة فيما يخص حقن وإضافة المواد الكيماوية. وتتوافق المحتويات المائية للتربة وحجم التربة المبللة، في أنهما يميلان في رفع كفاءة امتصاص النبات لكثير من المواد الكيماوية. أما العناصر المغذية القابلة للذوبان في الماء، فيمكن حقنها عن قرب حتى تتوافق مع احتياجات المحصول، مما يزيد من كفاءات استخدام العناصر المغذية، ويقلل من التكاليف.

ونظم الري الدقيق يمكن تشغيلها بحيث تحقق انتظامية تنقيط تبلغ ٩٠٪ إذا ما تم توخي الحذر عند تخطيط وتصميم النظام. فالنظام ينبغي أن يتم تصميمه وتشغيله لتحقيق انتظامية التوزيع العالية هذه لتفادي التسرب غير المرغوب فيه، ولضمان الحصول على انتظامية توزيع جيدة حيث إن انتظامية توزيع المواد الكيماوية لا يمكن لها أن تتجاوز انتظامية توزيع الماء.

ونظم الري الدقيق تعمل بكفاءات تقع في المدى بين ٨٥٪ و٩٥٪ بالمقارنة بنظم الري بالرش، والتي تنحصر كفاءاتها في المدى من ٦٠٪ إلى ٨٠٪. ومن ثم، فنظم الري الدقيق تعتبر نظماً متفوقة بكثير على أغلب نظم الري بالرش فيما يخص عملية الري الكيميائي. أما نظم الري المحورية منخفضة الضغط ذات الأنابيب الساقطة، فهي النظم الوحيدة التي تستطيع أن تقارب كفاءة أداء نظم الري بالتنقيط. وعلى كل الأحوال، فإن هذه النظم تتصف بقدرة محدودة على إضافة مبيدات الحشائش والمبيدات الحشرية بشكل فعال.

العوامل التي ينبغي أخذها في الحسبان عند تصميم نظم الري الدقيق لإجراء عملية الري الكيميائي، هي:

• لابد للمسافات بين المنقطات أن تضمن ما لا يقل عن ٦٠٪ من المجموع الجذري للنبات يتم ريه خلال المواسم الأكثر جفافاً.

• لابد للمنقطات المختارة من أن تعمل علي توفير انتظامية جيدة، وأن تتوافق مع التضاريس، ونوع المحصول، ونوعية المياه المتاحة. ولابد من زيادة خصائص التدفق واستمرارية المنتج. ولابد لمعامل الاختلاف المصنعي أن يكون أقل من ٠,٠٥ والأفضل أن يكون ٠,٠٣. واختبار معدلات التدفق للمنقطات عند بداية ونهاية المنطقة، هو أمر سيؤكد على أن انتظامية معدل التدفق هي في إطار الحدود المقبولة.

• إذا لم يتم استخدام المنقطات المعادلة للضغط، فينبغي لنطاق ضغط تشغيل المنقط من أن يظل في حدود ± ١٠٪ من ضغط تشغيل المنقط.

• كافة حاقنات المواد الكيماوية ينبغي أن يتم ترشيحها. وينبغي أن يتم الحقن بعد المضخة، وقبل المرشحات المنخلية الوسطى أو النهائية، وذلك لحصر أي مواد غير ذائبة. وينبغي دوماً لتركيبات الحقن أن تعمل على توفير مزج كامل وتركيزات متماثلة قبل أن تصل المواد الكيماوية إلى الحقل. وينبغي أن يتم حقن المواد إلى داخل منتصف تدفق الماء لضمان التخفيف السريع لها بالماء، وذلك لخفض تحلل خزانات المرشحات،

والأنابيب، والصمامات، وغيرها من المكونات الأخرى. وبوجه عام، لا ينبغي لمعدلات الحقن أن تتجاوز ١٪ من معدل تدفق المياه في النظام على الرغم من أن حدود التركيز (على سبيل المثال، للكلور) والاشتراطات الواردة في بطاقات العلامات التجارية، عادة ما تكون أقل.

• حقن المواد الكيماوية غالبا ما يزيد من قابلية تعرض المنقطات للانسداد. وهناك العديد من المنتجات العالمية التى يتم الترويج لها باعتبارها مبيدات حيوية، وأسمدة، ومنظفات شاملة للمنقطات أو خطوط الأنابيب. وهذه المنتجات ينبغي استخدامها فقط إذا كان في الإمكان التحقق من هذه المزاعم بواسطة بحوث محايدة عالية الكفاءة. فالكثير من هذه المواد عالية التكلفة، وهي فقط تعالج الأعراض دون أن تعمل على علاج المشكلات الكامنة وراءها، ومن ثم، فهي في نهاية المطاف تفشل. (P.745)

(١٩,٥,٥) الاعتبارات الخاصة بتصميم النظم السطحية

إن عملية الري الكيميائي مع نظم الري السطحية عادة ما تنطوي فقط على الأسمدة أو غيرها من محسنات التربة (مثل مركب PAM). أما مبيدات الآفات فنادراً ما يتم حقنها خلال نظم الري السطحية بسبب الاعتبارات البيئية نتيجة لعملية الجريان السطحي.

ولابد من أن يتم تصميم دورات الري وإدارتها بحيث تضمن أعلى انتظامية توزيع ممكنة خلال عملية الري الكيميائي. أما الخيارات المتاحة لتحقيق الانتظامية العالية فتشمل زيادة التدفق، وخفض أطوال الخطوط، لاسيما على التربة المتشققة. ولابد أن تكون هناك تدابير خاصة بتجميع وإعادة استخدام كل الماء الخلفي. والماء الخلفي لابد من إعادة استخدامه على نفس المنطقة قدر الإمكان. ولا يجب لدورات الحقن ان تتجاوز الوقت المطلوب لكل منطقة، بحيث تتلقى كل منطقة المقدار الصحيح من المواد الكيماوية. والمواد الكيماوية يتم حقنها بشكل نمطي فقط لحوالي نصف زمن الري الإجمالي، وهناك العديد من البدائل المتاحة.

أحد الخيارات هو بدء الحقن بعدما يكون الماء قد سار إلى حوالي نصف طول الخط أو الشريحة، وذلك لتقليل التسرب المفرط عند رأس الحقل. وعلى كل الأحوال، فإن التحكم في الماء الخلفي، وضمان التوزيعات المتماثلة، هما من الأمور الصعبة جداً. والأكثر شيوعاً هو أن كل منطقة يتم ريها لنفس الفترة الزمنية بنفس تركيزات ومعدلات التدفق.

ولابد من أن يتم حقن المواد الكيماوية بشكل متواصل إلى داخل إمدادات الماء الواردة بمعدل ثابت على مسافة كافية في منبع تيار التدفق لضمان المزج السليم طوال مدة كل فترة حقن. ويمكن إضافة الأسمدة ومحسنات التربة في صورة سائلة أو في صورة مسحوق، إلى إمدادات الماء الواردة من خلال أجهزة تعمل بدفع الجاذبية أو بآلات تعمل بالبطاريات. أما الغازات مثل الأمونيا اللا مائية، فغالباً ما يتم حقنها بواسطة خرطوم يتم إقحامه إلى داخل القناة أو الأنبوب باستخدام ضغط الخزان لتزويد العملية بقدرة الدفع اللازمة.

(١٩,٥,٦) اعتبارات عملية

بالإضافة إلى الاعتبارات الخاصة بانتقاء النظام وتصميمه، هناك أيضاً الكثير من الاعتبارات التشغيلية الواجب مراعاتها من أجل ضمان تنفيذ برنامج فعال لعملية الري الكيميائي بطريقة آمنة.

(١٩,٥,٦,١) فحص النظام

لابد من أن يتم غسيل معدات الحقن والأمان بالدفق لمنع تراكم المواد المترسبة في معدات الحقن. فمضخة الحقن، وخطوط أنابيب الحقن، وصمام الكبح على خط أنابيب الحقن، لابد من أن يتم غسلها جميعهاً بالدفق بعد كل استخدام. وهذه المعدات لابد من أن يتم غسيلها بالدفق باستخدام ماء نظيف أو غيره من المحاليل الأخرى بحسب ما هو موضح ببطاقة العلامة التجارية للمادة الكيميائية.

وكافة معدات الحقن والأمان لابد من أن يتم التفتيش عليها قبل كل عملية من عمليات الري الكيميائي. ولابد للعامل من أن يتبع توصيات الصانع فيما يخص تنظيف

وصيانة تلك المعدات. فالتفتيش على تلك الأجهزة سيقلل إلى الحد الأدنى من احتمالية تعطلها عن العمل. ولابد من أن يتم تشحيم الأجزاء المتحركة كلما اقتضت الضرورة قبل كل عملية من عمليات الري الكيميائي، وقبل التخزين في غير أوان الموسم من أجل الحفاظ على المعدات.

ولابد من أن يتم إصلاح أو استبدال صمام الكبح على خط أنابيب الري إذا ما لوحظ به أي تسريب. ولا ينبغي للعامل أن يقوم بأداء عملية الري الكيميائي إذا ما كان صمام الكبح هذا يسرّب. وتذكر أن المصرف منخفض الضغط هو من أجل الدعم فقط.

والمصرف منخفض الضغط لابد من أن يتم فحصه قبل كل عملية ري كيميائي. فإذا كان المصرف يعمل بشكل جيد، ينبغي لبعض الماء أن يتم تصريفه من المخرج في أعقاب بدء التشغيل مباشرة. وينبغي أن يتم إغلاق صمام المصرف هذا في نهاية الأمر، مع ازدياد ضغط النظام.

ولابد من أن يتم فحص صمام الكبح على خط الحقن لمنع التدفقات المرتدة، وإزالة خط الحقن من جانب الدخول في صمام الكبح على خط أنابيب المواد الكيماوية، ومراقبة ما إذا كان هناك أي تسرب خلفي يظهر أم لا عند عودة ضغط نظام الري. ويجب القيام بتنفيس أي هواء أو ضغط محبوس في خط الحقن قبل الإزالة. وكذلك، يمكن فحص صمام الكبح على خط حقن المواد الكيماوية لاكتشاف أي تسرب في الاتجاه الطبيعي للتدفق من مدخل الحقن. ولفحص الصمام، نقوم بإدخال طرف التصريف لصمام الكبح الخاص بخط الحقن داخل دلو وتشغيل مضخة الحقن. ونقوم بضخّ بعض المواد الكيماوية أو الماء خلال النظام، ثم إغلاق مضخة الحقن ومراقبة ما إذا كان يظهر أي تسرب من خلال صمام الكبح الخاص بخط حقن المواد الكيماوية.

كذلك ينبغي فحص نظام التعشيق قبل كل استخدام، حيث إن مفاتيح التحويل وغيرها من المفاتيح يمكن أن تتعطل بعد الصمود أمام تأثير الجو والتآكل.

وأخيراً، يجب فحص وصلات نظام الري ومثبتاته، والفوهات، وفحص فوهات النظام، ومنافذ مخارجه للتأكد من حالتها والقدرة على التشغيل. وفحص كافة المثبتات، والوصلات في النظام لتفادي حالات التسرب والإفراط المحتمل أثناء التطبيق.

وينبغي على العمال أن ينفذوا عملية الري الكيميائي فقط باستخدام معدات سلامة وحقن موثوق بها وجيدة الصيانة. فعملية الري الكيميائي يمكن أن تكون عملية آمنة نسبياً شريطة أن يتم اتخاذ تدابير ملائمة.

(١٩,٥,٦,٢) خصائص تشغيل عملية الري

إن الخصائص الفيزيائية لنظم الري، والتي تؤثر على انتظامية الحقن الكيميائي، تشمل ما يلي:

• تشتت المادة المذابة يظهر مع انتقال المادة الكيماوية عبر خط أنابيب الري. واحتكاك جدران الأنابيب المؤثر على حركة المائع هو المسبب لهذا التشتت. فطلقة المواد الكيماوية المحقونة في نظام للري تصبح منتشرة بينما تتحرك وتنتقل المادة الكيماوية مع ماء الري.

• احتواء خط الري الرئيس على مقدار كبير من الماء. ولابد من مراعاة كل من، وزمن الترحال اللازم للمادة الكيميائية لكي تصل إلى نقطة التفريغ، والزمن اللازم لغسيل النظام بالدفق. فنظام الري لابد من أن يتم غسيله بالدفق بعد اكتمال عملية الحقن. وينبغي على العامل أن يقوم بغسيل نظام الري بالدفق لفترة تتراوح ما بين ١٠ و١٥ دقيقة بعد كل دورة حقن كيميائي.

• اختلاف معدل التدفق عند التشغيل لكل منطقة.

• لنظم الري الثابتة، بوجه عام، تزداد انتظامية التطبيق مع طول زمن الدورة. من ثم فالمواد الكيماوية التي تحتاج إلى زمن إضافة قصير يكون من الصعب إضافتها بشكل متماثل.

• لنظم الري الدائمة الحركة مثل نظم الري المحورية، فإن مقدار المادة الكيماوية التى يمكن إضافتها يعتمد على سرعة الدوران وتركيز المحلول الكيمياوي. ويمكن

للمحلول الكيمياوي المتوافر أن يحدد سرعة دوران نظام الري. ويجب التأكد من أن السرعة المختارة ستعمل على توفير انتظامية إضافة جيدة.

(٣,٦,٥,١٩) إرشادات التشغيل

الخطوات التالية يمكن استخدامها للتأكد من أن نظام الري الكيميائي يعمل بكفاءة:

١- القيام بإعداد ورقة عمل توضح المناطق، ومعدل التدفق لكل منطقة، والمساحة التي تغطيها النباتات بالمنطق، ومعدل الحقن، وزمن الحقن. فهذا الأمر مفيد كمرجع مستقبلي.

٢- لابد لأنابيب الري من أن تكون مملوءة كلياً وتحت الضغط قبل بدء عملية الري الكيميائي.

٣- نظم الري ذات مجموعة الرشاشات الثابتة يفضل وينبغي أن يتم تشغيلها لمدة ساعة واحدة لتحقيق انتظامية إضافة جيدة، ولا يكون هذا الأمر ممكناً مع كل تطبيقات عملية الري الكيميائي، لكن الحد الأدنى لزمن الإضافة هو ١٥ دقيقة.

٤- الأسمدة والمواد الكيماوية الزراعية الأخرى (فيما عدا الكلور) لا ينبغي أبداً تركها في خطوط الأنابيب حين لا يعمل النظام. فطريقة "الربع" العامة المجربة هي أن عملية الري الكيميائي ينبغي أن تبدأ بعد "ربع" زمن دورة الري، ولابد للحقن أن يظهر خلال الربعين الأوسطين، وأن يتم الغسيل بالدفق لخطوط الأنابيب بالماء النظيف خلال الربع الأخير في زمن دورة الري. (انظر الجزء التالي للاطلاع على المزيد من المعلومات). وحقن مبيدات الآفات، والأسمدة لابد أن تكون بجرعات صغيرة ومتكررة تتلاءم مع جدولة فترات الري والتي تتناسب واستخدام النبات للماء لتجنب التسريب غير المرغوب فيه. وبالمثل، لا ينبغي أبداً إجراء تطبيقات الماء المفرطة (أو الجائرة) لغسيل أملاح التربة، وذلك عندما تكون بصدد حقن المواد الكيمياوية (باستثناء الكلور).

٥- لابد أن يتم غسيل النظام بالدفق بعد اكتمال عملية الري الكيميائي. ولابد من أن يتم تشغيل نظام الري لفترة طويلة بما يكفي لتطهير كافة خطوط الأنابيب من المواد الكيماوية التي يتم استخدامها. فإذا ما تم إغلاق نظام الري قبل أن تخرج كافة المواد الكيماوية من الخطوط الفرعية، فعندئذ ستضاف مواد كيمياوية زائدة عند الأماكن المنخفضة حيث يخرج الماء من خلال المنقطات أو الرشاشات، أونظام الصرف. ومن ثمّ، فإن المادة الكيماوية المستهدفة لنهاية خطوط الأنابيب لن تصل إلى المنطقة المستهدفة. وبعض المواد الكيماوية قدّ تتسبب في انسداد الفوهات أو المنقطات إن لم يتم غسيلها بالدفق بشكل كامل إلى خارج النظام. وقد تكون فترة غسيل بالدفق لمدة ٣٠ دقيقةكافية مع أغلب النظم، اعتماداً على تصميم النظام، وعلى الرغم من أن النظم ذات خطوط الأنابيب الرئيسة الطويلة وكبيرة الحجم قد تتطلب فترات زمنية أطول لغسيل النظام بالدفق.

٦- يمكن إجراء فحص بالصبغة لتحديد الزمن اللازم لخروج آخر المواد الكيماوية من آخر الرشاشات أو المنقطات. ويمكن خفض مقدار زمن الغسيل بالدفق من خلال حقن المادة الكيماوية عند منطقة التحكم في بعض النظم.

٧- مزج المحلول بشكل منفصل لكل منطقة هو أمر يقلل من احتمالية الخطأ خلال عملية التطبيق ويسمح بإجراء عملية غسيل جيدة بالدفق لنظام الري وذلك لرفع انتظامية التطبيق. وإذا ما تم استخدام آلية تحكم قادرة على برمجة الحقنات أثناء جدولة الري المتبعة، عندئذ يمكن مزج خزان لدفعات مخاليط المواد الكيماوية لكافة المناطق. ومن ثم، فإن مقدار المادة الكيماوية المضافة لكل منطقة سيتم التحكم فيه عندئذ من خلال ضبط توقيتات الحقن.

٨- عند إضافة المواد الكيماوية التي تلحق الضرر بمجموع أوراق المحصول، عندئذ ينبغي تشغيل نظام الري مدة طويلة بما يكفي بعد عملية الري الكيميائي للتأكد من أن المادة الكيماوية قد تم غسلها.

٩- قد يتطلب الأمر إجراء معالجات ما بعد الحقن، لتفادي تراكم الطحالب، أو الأوحال، أو المواد المترسبة والتي تسبب انسداد نظم الريّ الدقيق. والتركيزات العالية للكربونات و/أو الحديد في بعض مياه الري قد تتفاعل مع الأسمدة مسببة مركبات كالسيوم أو حديد غير قابلة للذوبان في الماء. وكذلك فإن أنواعاً معينة من البكتريا يمكنها أن تعمل على ترسيب الحديد كمنتج ثانوي لعملية الأيض الحيوي وتنتج أوحالاً أو مواد شبيهة بالجيلاتين داخل خطوط أنابيب الري. وكذلك فإن نمو الطحالب قدّ يتحسن بإضافة العناصر المغذية إلى الماء. وقد يتطلب الأمر اللجوء إلى إجراءات صيانة خاصة مثل إضافة الكلور إلى الماء (عملية الكلوَرة)، وإضافة مبيدات الطحالب، أو مبيدات البكتريا، والمعالجة المسبقة للماء بالعناصر الحلقية الاتحاد مع الفلزات، وذلك عند إجراء عملية الرسمدة مع نظم الري.

١٠- لابد من فحص حامضية التربة، لا سيما عند إضافة أسمدة الأمونيوم خلال نظام الري بالتنقيط. والحامضية ستعتمد على قدرة التربة على تحملها. واختيار مصدر تسميد ملائم هو أمر سيقلل من مشكلات الحامضية. والمعالجة بالجير (الكلس) قد تكون أيضاً من البدائل.

(١٩,٥,٦,٤) تحديد عمق تطبيق المواد الكيماوية

الأسمدة التي يتم تطبيقها من خلال نظام الري حتى تكون فعالة، لابد أن يتم تخزينها في حدود الحيز الجذري للنباتات. وتطبيقات الري التي تتجاوز قدرة التربة على تخزين الماء تسبب حدوث تسرب أسفل منطقة عمق المجموع الجذري للنباتات. والعمق المعين في التربة، والذي يتم إضافة الأسمدة أو المواد الكيماوية إليه، يمكن أن يتم تحديده من خلال معدل الإضافة لنظام الري، ومدة الري، وقوام التربة، ومحتوى رطوبة التربة قبل بدء عملية الري الكيميائي. والجدول رقم (١٩,٢) يقدم لنا دليلاً إرشادياً لتحديد محتوى رطوبة التربة التقريبي باستخدام طريقة التحسس باليد. وتتوافر الكثير من طرق ومنتجات مراقبة التربة لتحديد محتوى رطوبة التربة، بعض منها تمت مناقشتها في موضع آخر من هذا الكتاب.

الجدول رقم (١٩,٢). رطوبة التربة ومظهرها ووصفها. (وزارة الزراعة والأراضي بإقليم كولومبيا البريطانية، ٢٠٠٦).

الماء المتاح[أ]	ملمس أو مظهر التربة			
	الرملية	الرملية اللومية	اللومية/الطميية اللومية	الطينية اللومية/الطينية
أكبر من ١٠٠٪ (قريب من التشبع)	الماء الحر يظهر عند عصر التربة باليد	الماء الحر ينطلق عند عجن التربة (باليد)	يمكن عصر الماء الحر (من التربة).	برك صغيرة ؛ الماء الحر يتكون على السطح
١٠٠٪	عند عصر التربة باليد لا يظهر أي ماء حر على التربة، ولكنها تترك شكل كرة مبللة على اليد. (٨٠)[ب]	تبدو داكنة للغاية. وعند اعتصارها لا يظهر أي ماء حر على التربة ؛ ولكنها تترك شكل كرة مبللة على اليد. صانعة أشرطة قصيرة. (١٢٥)[ب]	تبدو داكنة للغاية. وعند اعتصارها يظهر ماء حر على التربة، ولكنها تترك شكل كرة مبللة على اليد. صانعة أشرطة قصيرة تبلغ حوالي ١ بوصة. (١٧٠)[ب]	تبدو داكنة للغاية. وعند اعتصارها لا يظهر أي ماء حر على التربة، ولكنها تترك شكل كرة مبللة على اليد. صانعة أشرطة قصيرة تبلغ حوالي ٢ بوصة. (٢١٠)[ب]
من ٧٥٪ إلى ١٠٠٪	تميل لأن تتماسك سوياً قليلاً، وأحياناً ما تكوّن كرة ضعيفة بالضغط. (٧٠ إلى ٨٠).[ب]	داكنة تماماً. تكوّن كرة ضعيفة، تتفتت بسهولة. ولن تكون زلقة. (١٠٠ إلى ١٢٥).[ب]	ملونة بشكل داكن. وتكوّن كرة، وهي طيّعة (سهلة التشكيل) للغاية، وتكون زلقة بفعل ما إذا كان الطين بها مرتفعاً. (١٢٥ إلى ١٧٠).[ب]	ملونة بشكل داكن. سهلة في تكوين الأشرطة فيما بين الأصابع، ولها ملمس زلق. (١٦٠ إلى ٢١٠).[ب]
من ٥٠٪ إلى ٧٥٪	تبدو كأنها جافة، ولن تكوّن شكل كرة بالضغط. (٤٠ إلى ٧٠).[ب]	داكنة نوعا ما. تميل لتكوين شكل كرة مع الضغط، ولكنها نادرا ما تتماسك سويا. (٧٠ إلى ١٠٠)[ب]	داكنة نوعا ما. تقوم بتكوين شكل كرة لدنة نوعا ما، وأحيانا ما ستكون زلقة slick مع الضغط. (٨٠ إلى ١٢٥)[ب]	داكنة نوعا ما. تقوم بتكوين شكل أشرطة ribbons كرات فيما بين الإبهام والسبابة. (١٠٠ إلى ١٦٠)[ب]

تابع الجدول رقم (١٩,٢).

الماء المتاح[أ]	ملمس أو مظهر التربة			
	الرملية	الرملية	الرملية	الرملية
من ٢٥٪ إلى ٥٠٪	تبدو كأنها جافة، ولن تكوّن شكل كرة بالضغط. (٢٠ إلى ٤٠)[ب]	ملونة بشكل خفيف. وتبدو كأنها جافة، ولن تكوّن شكل كرة. (٣٠ إلى ٧٠)[ب]	ملونة بشكل خفيف. متفتتة نوعا ما، ولكنها تتماسك سوياً بالضغط. (٤٠ إلى ٨٠)[ب]	داكنة بشكل خفيف. وهي طيّعة (سهلة التشكيل) نوعا ما، تقوم بتكوين شكل كرة مرنة في ظل الضغط. (٥٠ إلى ١٠٠)[ب]
من ٠٪ إلى ٢٥٪	جافة، مخلخلة، منفردة الحبيبات، تتدفق عبر الأصابع. (٠ إلى ٢٠)[ب]	ملونة بشكل طفيف للغاية. جافة مخلخلة، تتدفق عبر الأصابع. (٠ إلى ٣٠)[ب]	ملونة بشكل طفيف. تشبه المسحوق، جافة، وأحياناً متقشرة بشكل طفيف، لكنها سهلة التكسُّر إلى حالة شبيهة بالمسحوق. (٠ إلى ٤٠)[ب]	ملونة بشكل طفيف. صلبة، محمصة، متشققة، وأحياناً ما يعلو سطحها فتات مخلخلة. (٠ إلى ٥٠)[ب]

(أ) الماء المتاح هو الفرق بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمة.

(ب) الأرقام المحصورة بين الأقواس هي محتويات الماء المتاح معبر عنها بالملليمترات من الماء لكل متر من عمق التربة.

(١٩,٦) حساب معدلات الحقن

إن حساب معدل الحقن سوف يساعد على التأكد من أن المشغل يمكنه إكمال عملية الري الكيميائي في الإطار الزمني المحدد، وأن يقرر أن كل المادة الكيماوية يمكن إضافتها، والتأكيد على ما إذا كانت الحاقنة بمقدورها ان تقوم بإضافة الجرعة المرغوبة أم لا. ولضمان أفضل أداء، لا ينبغي لمعدل الحقن المستخدم أن يبلغ النهاية الدنيا أو النهاية العليا لنظام الحقن.

وزمن الحقن دوماً ما سيحدد معدل الحقن. ففي حالة النظم المحورية على سبيل المثال، والتي ستتم مناقشتها تحت البند رقم (١٩,٦,٣)، نجد أن زمن الحقن هو الزمن الذي يستغرقه الجهاز المحوري لإتمام دورة واحدة. أما بالنسبة لنظم الرشّ المدفعي المتحركة، فنجد أن الزمن الذي يستغرقه مدفع الرش لتغطية شريحة واحدة سيكون هو نفسه زمن الحقن. أما نظم الري بالتنقيط والتي تتغير من منطقة إلى أخرى خلال عملية الري الكيميائي، فسيتم ضبط زمن الحقن لها من خلال زمن التشغيل للمنطقة.

والطرق الثلاثة التالية – طريقة الحقن بالوزن، والحقن بالحجم، والحقن بمعدل الحقن – يمكن أن يتم استخدامها في تقدير معدل الحقن. ونوعية نظامي الري والحقن، ونوعية المادة الكيماوية المستخدمة، غالباً ما ستحدد الطريقة الواجب اتباعها.

(١٩,٦,١) طريقة الحقن بالوزن

إن طريقة الحقن بالوزن غالباً ما يتم استخدامها مع الأسمدة الحبيبية، والحاقنات تفاضلية الضغط، والحاقنات من نوع الفنتوري. وهذه الطريقة تعمل بشكل طيب مع نظم خطوط الري اليدوية، ونظم الري المدفوعة بالسواقي، وغيرها من نظم الري بالرش ثابتة الحركة، والتي يتم استخدامها لإضافة الأسمدة. والخطوات التالية يجب اتباعها من أجل تحديد معدل حقن الأسمدة باستخدام طريقة الحقن بالوزن:

١- تحديد مقدار العناصر المغذية التي يفترض إضافتها لكل هكتار.

٢- باستخدام النسبة المئوية للعناصر المغذية المتاحة والمتوفرة في السماد، يتم حساب المقدار الكلي للسماد المفترض إضافتها لكل هكتار. فعلى سبيل المثال، إذا كان ٥٠ كجم من النتروجين N مطلوباً للهكتار الواحد، وكان تركيز السماد يبلغ ١٥٪ نتروجين N، من ثم فإن ٣٣٣ كجم من السماد لابد من أن يتم إضافته للهكتار الواحد.

٣- حساب المساحة المفترض تغطيتها بكل دورة لنظام الري. ويمكن إتمام هذا الحساب باستخدام المسافة بين الرشاشات، وتحديد عدد الرشاشات العاملة على المنطقة المفترض تغطيتها. ومن المهم أن نتذكر أن نفس المقدار من المادة الكيماوية يجب أن يتم إضافته خلال كل دورة لنظام الري من أجل أن ينال الحقل بأكمله تغطية متماثلة.

٤- تحديد المقدار الإجمالي للسماد المفترض إضافته من خلال ضرب الكمية المفترض إضافتها للهكتار الواحد في كامل المساحة المفترض تغطيتها أثناء الدورة الواحدة لنظام الري. والقيام بتجهيز هذا المقدار من السماد في خزان بحيث يبقي المحلول في صورة معلّق. وسيتم إضافة كل هذا المحلول خلال دورة الري.

٥- تحديد زمن الحقن المرغوب، والتأكد من أن هناك زمناً كافياً من أجل البدء اللائق للتشغيل، ومن أجل غسيل النظام بالدفق. وإذا كان من المفترض إضافة السماد إلى عمق معين في التربة، راجع المعلومات السابقة في الجزء (١٩,٥,٦,٤).

٦- معدل الحقن سيكون هو مقدار المحلول الموجود في الخزان مقسوماً على زمن الحقن المنتقى.

في حالة استخدام إحدى الحاقنات تفاضلية الضغط بدون غشاء، فإن تركيز السماد داخل الخزان سينخفض حيث ستتم إزاحة المحلول بواسطة الماء الوارد. ولابد من توخي الحذر للتأكد من أن هناك زمناً كافياً لتوزيع كامل محلول السماد.

(١٩,٦,٢) طريقة الحقن بالحجم

إن طريقة الحقن بالحجم تشبه طريقة الحقن بالوزن، ولكنها تستخدم مع محاليل العناصر المغذية بدلاً من الأسمدة الحبيبية.

وهذه الطريقة غالباً ما يتم استخدامها مع نظم الري ذات الرشاشات الثابتة، أو مع نظم الري ثابتة الحركة بالنزّ أو بالتنقيط. ويمكن مع هذه الطريقة استخدام كافة أنواع الحاقنات، ولكن الأنواع الأكثر شيوعاً هي الحاقنات المدفوعة بقدرة الماء، والحاقنات المدفوعة بقدرة المضخات، بالإضافة إلى الحاقنات من نوع فنتوري. والخطوات التالية من الواجب اتباعها لتحديد معدل الحقن للأسمدة باستخدام طريقة الحقن بالحجم:

١- بشكل مماثل للخطوات المتبعة في طريقة الحقن بالوزن، يتم حساب مقدار العناصر المغذية المفترض توزيعها على كل هكتار، والمساحة التي يغطيها الري.

٢- لابد من معرفة كثافة المحلول لتحديد كمية السماد المشمول في المحلول. فعلى سبيل المثال، محلول بكثافة تبلغ ١,٣ كجم/لتر سيحتوي على ١,٣ كجم من السماد الذائب في كل لتر من الماء.

٣- لابد من معرفة تركيز العناصر المغذية في السماد لتحديد مقدار المحلول الواجب إضافته.

٤- يمكن حساب مقدار المحلول اللازم إضافته للهكتار الواحد باستخدام تركيز السماد وكثافة المحلول. فعلى سبيل المثال، إذا كان المطلوب للهكتار الواحد ٥٠ كجم من النيتروجين N، وكانت كثافة المحلول ١,٣ كجم/لتر، مع تركيز للعناصر المغذية يبلغ ٢٥٪، من ثم فإن مقدار المحلول سيكون ٥٠ كجم/هكتار تقسيم ١,٣ كجم/لتر ويساوي ٣٧,٦ لتر/هكتار. وتطبيق تركيز نتروجين N يبلغ ٠,٢٥، وسينتج عنه مقدار ٣٧,٦ لتر/هكتار تقسيم ٠,٢٥ ويساوي ١٥٠ لتر يتم إضافتها على الهكتار الواحد.

٥- المقدار الإجمالي للمحلول الواجب إضافته يمكن حسابه باستخدام المساحة الفعلية المغطاة بنظام الري مضروبة في مقدار المحلول المطلوب للهكتار الواحد.

٦- مقدار المحلول الواجب إضافته خلال الزمن المنتقى سيعمل على تحديد معدل الحقن.

(١٩,٦,٣) صيغة معدل الحقن

صيغة معدل الحقن يمكن استخدامها مع نظم الري ذات الحركة المستمرة، مثل نظم الري المحورية، ونظم الري بالتنقيط والتي ستتغير بشكل تلقائي (آلياً) من منطقة إلى أخرى أثناء عملية الري الكيميائي. وسيكون من المطلوب استخدام نظام حقن جيد المعايرة مع مثل هذه الأنواع من النظم. وعادة ما يتم استخدام مضخة حقن مدفوعة بالقدرة الكهربية، أو نظام من النوع فنتوري المزود بمضخة تعمل بدفع القدرة الكهربية. وحيث إن تلك الطريقة عادة ما تتسبب في معالجة الحقل بالكامل، يكون من المطلوب استخدام خزان كبير ليكفي المواد الكيماوية.

وإذا كانت كل المؤشرات معروفة، من ثم، يمكن تقدير معدل الحقن بالمعادلة:

$$I_c = \frac{Q_c \times A}{C \times T} \qquad (١٩,١)$$

حيث إن:

I_c = معدل حقن المواد الكيماوية (لتر/دقيقة).

Q_c = مقدار العناصر المغذية المفترض إضافتها على المساحة المستهدفة (كجم/هكتار).

A = المساحة المستهدفة بالمعالجة والتى يغطيها نظام الري (هكتار).

C = تركيز المحلول المحقون (كجم/لتر) (وهذا هو التركيز الفعلي للعناصر المغذية أو المواد الكيماوية في المحلول المفترض إضافته).

T = طول الفترة الزمنية التي تعمل خلالها الحاقنة (دقيقة).

فعلى سبيل المثال، النظام المحوري ذو نصف قطر دائرة بلل ٤١٠ م (١٣٥٠قدم) يفترض له أن يقوم بإضافة ٥٠كجم من النيتروجين للهكتار الواحد. وسرعة دوران البرج الأخير هي ١,٦٧ م/دقيقة (٥,٥ قدم/دقيقة). ومحلول من اليوريا

المفترض استخدامه كمصدر للسماد، نسبة النتروجين N به تبلغ ٢٣٪ وكثافته تبلغ ١,١٤كجم/لتر. ويتم حساب معدل الحقن كالآتي:

١- مقدار العناصر المغذية المفترض إضافتها (Q_c) هو ٥٠كجم/هكتار من النتروجين N.

٢- المساحة (A) التي يغطيها نظام الري المحوري يمكن حسابها من نصف قطر دائرة البلل وتبلغ ٥٣ هكتاراً.

٣- تركيز النتروجين N في المحلول (C) هو ١,١٤ كجم/لتر × ٠,٢٣ = ٠,٢٦كجم/لتر من النتروجين N.

٤- طول الفترة الزمنية، هو طول الزمن الذي يستغرقه الجهاز المحوري لإتمام دورة واحدة. وهذا سيكون محيط المحور مقسوماً على سرعة البرج الأخير ومن ثم سيكون زمن الحقن هو ١٣٣٦ دقيقة. ومن ثمّ، يكون معدل الحقن هو:

$$I_c = \frac{50\,kg/ha \times 53\,ha}{0.26\,kg/L \times 1336\,min} = 7.63\,L/min$$

المراجع

ASABE. 2006. EP409.1: Safety devices for chemigation. St. Joseph, Mich.: ASABE. Bar- Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. Advances in Agronomy 65: 2-77.

Bausch, W C. 1985. Chemigation: Recommended Safety Devices. Colorado State Univ. Coop. Ext. Pub. #2.801. Fort Collins, Colo.: Colorado State Univ.

B.C. Ministry of Agriculture and Lands. 2006. Irrigation Scheduling Techniques Factsheet. British Columbia Ministry of Agriculture and Lands.

Bryan, B. B., and E. L. Thomas. 1958. Distribution of fertilizer materials applied with sprinkler irrigation systems. Univ. Arkansas Exp. Sta. Res. Bull. 598. Fayetteville, Ark.: Univ. Arkansas.

Burt, C. M., K. O'Connor, and T. Ruehr. 1995. Fertigation. San Luis Obispo, Calif.: Irrigation Training and Research Ctr., California Polytechnic State Univ.

California Fertilizer Association, 1995. Methods of applying fertilizer. Chapter 7 in Western Fertilizer Handbook, 161-188. 8th ed. Sacramento, Calif.: California Fertilizer Assoc.

Clark, G. A., D. Z. Haman, and F S. Zazueta. 1998. Injection of chemicals into irrigation systems: Rates, volumes, and injection periods. IFAS Ext. Bull. 250. Gainesville, Fla.: Univ. Florida.

Doerge, T. A., R. L. Roth, and B. R. Gardner. 1991. Nitrogen fertilizer management in Arizona. College of Agriculture Publication 191025. Tucson, Ariz.: Univ. Arizona.

Evans, R. G., and P M. Waller. 2007. Application of chemical materials. Chapter 8 in Microirrigation for Crop Production. F R. Lamm, J. E. Ayers, F- S. Nakayama, eds. New York, N.Y.: Elsiever.

Granberry, D. M., K. A. Harrison, and W T. Kelley. 2001. Drip chemigation: Injecting fertilizer, acid and chlorine. Bull. 1130. Athens, Ga.: Univ. of Georgia College of Agric. and Environmental Sci. Coop. Ext. Service.

Haman, D. Z., A. G. Smajstrla, and F S. Zazueta. 1990. Chemical Injection Methods for Irrigation. Gainesville, Fla.: Univ. Florida, IFAS.

Irrigation Association. 2000. Chemigation. 5th ed. Falls Church, Va.:Irrigation Assoc. Nakayama, F S., and D. A. Bucks. 1986. Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation, and Management. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

NASS. 1998. 1998 Farm and Ranch Irrigation Survey. Washington D.C.: National Agricultural Statistics Service.

Ptacek, L. R. 1986. Subsurface irrigation and the use of chemicals. In Proc.1986 Irrigation Association Annual Conference, 225-234. Falls Church, Va.: Irrigation Assoc.

Rosen, C. J., and R. Eliason. 1996. Nutrient management for commercial fruit and vegetable crops in Minnesota. Univ. of Minnesota Ext.Pub. BU-05886. Available at: www.extension.umn.edu/ distribution/ cropsystemsIDC5886.html.

Rolston, D. E., R. J. Miller, and H. Schulbach. 1986. Chapt. 4.3: Management principles: Fertigation. In Trickle Irrigation for Crop Production, 317-344. F S. Makayama and D. A. Bucks, eds. Elsevier.

Scherer, T., W Kranz, D. Pfost, H. Werner, J. A Wright, and C. D Yonts. 1999. Chemigation. Chapter 8 in Sprinkler Irrigation Systems Handbook, 145-165. MWPS#30. Ames, Iowa: Midwest Plan Service.

Schulze, L. D., and G. Buttermore. 1994. Fertilizer and pesticide containment guidelines. Publication # G94-1185-A. Lincoln, Nebr.:

Univ. of Nebraska Coop. Ext., and Nebraska Dept. of Environmental Quality. Available at: www.ianr.unl.edu/pubs/water/ g1185.htm.

Smajstrla, A. G., D. S. Harrison, W. J. Becker, F S. Zazueta, and D. Z. Haman. 1985. Backflow prevention requirements for Florida irrigation systems. Bull. 217. Gainesville, Fla.: IFAS, Univ. of Florida.

Smajstrla, A. G., D. Z. Haman, and F S. Zazueta. 1986. Chemical injection (chemigation): Methods and calibration. Agric. Eng. Ext. Report 85-22 (revised). Gainesville, Fla.: IFAS, Univ. Florida.

Solomon, K. H., and D. F Zoldoske. 1998. Backflow prevention and safety devices for chemigation. CATI Pub. #981201. Fresno, Calif.: Univ. California.

Threadgill, E. D. 1985. Chemigation via sprinkler irrigation: Current status and future development. Applied Eng. in Agric. 1: 16-23.

Threadgill, E. D., D. E. Eisenhauer, J. R. Young, and B. Bar-Yosef. 1990. Chemigation. Chapt. 20 in Management of Farm Irrigation Systems, 749-780. G. J. Hoffman, T. A. Howell, and K. H. Solomon, eds. St. Joseph, Mich.: ASAE.

van der Gulik, T. 1993. Chemigation guidelines for British Columbia. Abbotsford, B.C., Canada: British Columbia Ministry of Agriculture and Food.

van der Gulik, T. W., and R. G. Evans. 2006. Chemigation. Chapter 30 in Irrigation. 6th Edition. R. Ryck, ed. Silver Springs, Md.: Irrigation Assoc.

Werner, H. 2002. Chemigation: Calibrating systems for center pivot irrigation. Ext. Bull. FS 863. Brookings, S.D.: Cooperative Ext. Service, South Dakota State Univ.

Wright, J., F Bergsrud, and J. Peckham. 1993. Chemigation safety measures. Cooperative Extension Pub. FO-06122-GO. Minneapolis, Minn.: Univ. Minnesota.

Wright, J., F. Bergsrud, G. Rehm, C. Rosen, G. Malzer, and B. Montgomery. 1992. Nitrogen application in irrigation water: Chemigation. Exte. Service Bull. BU¬6118-GO. Minneapolis, Minn.: Univ. Minnesota. Available at: www.extension.umn.edu/distribution/ cropsystems /DC6118. html.

الفصل العشرون

الري بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة

مارشال ج. مكفارلاند (مركز البحوث والتوسع الزراعي – منطقة ستيفينفيلا–ولاية تكساس الأمريكية)
مات أ. سانديرسون (وحدة خدمة البحوث الزراعية – وزارة الزراعة الأمريكية
–جامعة بارك –ولاية بنسلفانيا الأمريكية)
آن م. س. مكفارلاند (معهد تكساس للبحوث التطبيقية البيئية – جامعة تارليتون الحكومية
– منطقة ستيفينفيلا – ولاية تكساس الأمريكية)

ملخص: إن الري باستخدام المياه المعالجة من المحطات البلدية لمعالجة مياه الصرف الصحي، وباستخدام مياه الصرف من المصادر الصناعية، هو أمر شديد الشيوع ومقبول اجتماعياً بشكل كبير. فبشكل متزايد، يتم النظر إلى المياه المعالجة، ومياه الصرف الصحي على أنهما من المصادر المهمة للمحافظة على الماء. وتصميم وتشغيل نظم الري التى تستخدم هذه المصادر للمياه لابد وأن تأخذ في الاعتبار العناصر الداخلة في تكوين هذه المياه. فهذه العناصر المكونة تشمل العناصر المغذية إلى جانب تهديدات محتملة على البيئة وصحة الإنسان. وقد يُنصح بعمل موازنات للعناصر المغذية، لأخذ محتوى الماء من النيتروجين والفسفور في الاعتبار. والري بالمياه المعالجة يستلزم استخدام نظم توزيع منفصلة في البيئات الحضرية.
الكلمات الأساسية: صحة الإنسان، نظم الري، النيتروجين، الموازنة الغذائية، المياه المعالجة، الفسفور، مياه الصرف الصحي، جودة الماء.

(٢٠,١) مقدمة

إن الري باستخدام المياه المعالجة من المحطات البلدية لمعالجة مياه الصرف الصحي ، وباستخدام مياه الصرف من المصادر البلدية والزراعية ، أصبح أكثر انتشاراً وقبولاً. وتصميم وتشغيل نظم الري التي تستخدم مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة بهما بعض الفروق الهامة عن تصميم وتشغيل نظم الري التى تستخدم مصادر المياه الصالحة للشرب أو مصادر المياه الأولية. وتعزى هذه الفروق إلى العناصر المكونة لمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة ، حيث إن هذه العناصر المكونة تساعد في الأساس على تدهور صحة الإنسان والبيئة. ومبادئ التصميم والتشغيل تنطبق أيضًا حين يكون مصدر الري هو مصدر إمداد مياه سطحية ذا جودة متدنية.

وإصطلاحاً المياه المعالجة ، ومياه الصرف الصحي ، أحيانا ما يتم استخدامهما بشكل متبادل ، إلا أن هناك فروقاً هامة فيما بينهما. فالمياه المعالجة حظيت بمعالجة ثلاثية ، اشتملت على الترشيح والتطهير، من الأنظمة البلدية لمعالجة مياه الصرف الصحي. والماء يتصف بكونه خالياً من البكتريا العضَويّة ، وبه المحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي الحيوي أو الكيميائي ، وبأن به عكارة ، وبه خواص الرائحة بالمقارنة بصفات الماء الصالح للشرب. أما مياه الصرف الصحي فقد مرت خلال معالجة أولية (ألا وهي إزالة المواد العالقة والقابلة للترسيب) وبعض المعالجة الثانوية (ألا وهي تثبيت استقرار أغلب المواد العضوية ، مع بعض الخفض في مناسيب العناصر المغذية). ومقدار المعالجة الثانوية يعتمد على تصميم وتشغيل نظام معالجة الصرف. فقد يتراوح المدي ما بين معالجة ثانوية محدودة للغاية في بعض أنظمة البحيرات الضحلة أحادية المراحل ، ومعالجة ثانوية شبه مكتملة في المنشآت ذات المراحل المتعددة ، وهو ما يشمل تجمع الأهوار كمرحلة صقل نهائية. وقد تتوافر مياه الصرف من أنظمة معالجة

الصرف الزراعي، أو من المحطات البلدية لمعالجة مياه الصرف الصحي، ومن وحدات تصنيع المواد الغذائية. أما مياه الصرف الآتية من المصادر الصناعية فعادة لا يتم استخدامها في الري أو في إنتاج المياه المعالجة. ومياه الصرف الصحي سيكون بها محتوى لا بأس به من المواد العضوية، وتتميز بوجود المحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي أو البيوكيميائي (الكيميائي الحيوي) (BOD/COD)، ووجود الشوائب الصلبة العالقة (SS)، ووجود المسببات المرضية المحتملة، ووجود العناصر المغذية، كما أنها تحتوي على عناصر مكونة أخرى ذات أهمية. أما المياه المعالجة بوجه عام، فقد يتم استخدامها في المناطق التى يمكن للعامة التطرق إليها مثل المتنزهات العامة، والملاعب، وحدائق نباتات الزينة، وملاعب الجولف. ولكن مياه الصرف الصحي لا يكون من المستطاع استخدامها في المناطق التى يمكن للعامة التطرق إليها، كما أنها تستلزم معالجة الأرض قبل أن يكون في مقدور ماء الجريان السطحي أو ماء التسرب أن يستوفي معايير الجودة اللازمة للتلامس الأوليّ، والمبادئ الإرشادية لمحتوى العناصر المغذية.

وهناك اثنان من الأغراض العامة لاستخدام مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة في الري. الغرض الأول هو استغلال الماء ومحتواه من العناصر المغذية كمورد للماء. والثاني هو استغلال الري في معالجة و/أو التخلص من مياه الصرف أو المياه المعالجة في منظومة النبات-التربة. فالري (التوزيع بمعدل بطيء على التربة) هو واحدة من الطرق الثلاثة الموصي بها لمعالجة مياه الصرف الصحي البلدية، أما الطريقتان الأخريان فهما التسرب السريع، والتدفق على السطح السريع (USEP A, 1981).

وطريقة الري بالمياه المعالجة ومياه الصرف الصحي لها الكثير من المنافع والعيوب (Heaton, 1981; Lejano *et al.*, 1992) عند مقارنتها بطريقة الري بمياه المصادر غير المتدنية. وتكرير مياه الصرف الصحي يمثل مصدراً جديداً وموثوقاً لمياه الري. فالعناصر

المغذية بهذه المياه لها قيمة إيجابية بالنسبة للمحصول، وللمسطحات الخضراء، ولإنتاج الأعشاب. وطريقة الري بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة تتسم بكونها اقتصادية، وفعالة فيما يتعلق بالتكلفة، ومقبولة بيئياً، ومقبولة اجتماعياً بشكل متزايد.

كذلك هناك عيوب في استخدام مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة في الري. فالري باستخدام مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة مرهون بلوائح الهيئات المحلية والحكومية من أجل حماية الصحة العامة والبيئة. وقد يتطلب الأمر المراقبة والحفظ على السجلات. فحتى المياه المعالجة الأعلى جودة هي ذات جودة أقل من المياه الصالحة للشرب. فالمياه يكون بها مناسيب عالية من الشوائب الصلبة الذائبة، والصوديوم، والعناصر المغذية، والمعادن الثقيلة، والمواد العضوية (BOD)، والمسببات المرضية (مثل البكتريا، والفيروسات، والأوليات، والديدان الخيطية)، وتعقب المواد العضوية، والأنيونات (الأيونات السالبة) السامة والتي تتطلب اعتبارات إضافية عند التصميم والتشغيل والإدارة. فتصميم وتشغيل مثل نظم الري هذه هي أمور أكثر تعقيداً منها في حالة النظم التي تستخدم مصادر المياه الأخرى. فالري باستخدام المياه المعالجة يستلزم استخدام أنظمة توزيع وتطبيق منفصلة، مع اتخاذ احتياطات خاصة لمنع اختلاط مصادر المياه المعالجة مع مصادر المياه الصالحة للشرب.

هناك العديد من الأمثلة الناجحة على نظم الري بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة والموثقة في الدراسات (مثل، Mantovani *et al.*, 2001، والتي استطلعت ٤٠ مشروعاً لإعادة استخدام المياه عبر أرجاء الولايات المتحدة، و٢٥ مشروعاً آخرين في عشر دول أخرى). ويعتبر نظام منطقة لوبوك بولاية تكساس مثالا ممتازاً على الري باستخدام مياه الصرف الصحي يوضح مزايا هذا النوع من الري وعيوبه. فمنذ عام ١٩٣٨، كان يتم ريّ مزرعة جراي شرق منطقة لوبوك بمياه الصرف الصحي البلدية ذات المعالجة الثانوية (George *et al.*, 1987). وفيما قبل عام ١٩٨٢، كان يتم ري محاصيل القطن والقمح إما بواسطة الري بالغمر أو بواسطة الري بالخطوط بنحو ٢ إلى

٤,٥ م من مياه الصرف الصحي كل عام. وقد نتج عن هذا الري الجائر أن تراكمت المياه الجوفية أسفل تربة المزرعة، مع تدهور واضح في جودة المياه الجوفية. فعينات المياه الجوفية التي تم جمعها في الفترة ما بين ١٩٨٠ إلى ١٩٨٢ أوضحت أن تركيزات نترات النيتروجين تتراوح بين ٥ و٣٦ مجم/لتر، وأن تركيزات المحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي (BOD/COD) هي بين ٢٧ إلى ١٢٥ مجم/لتر، وأن إجمالي تركيز الفسفور بين ٠,١ و٣,٥ مجم/لتر. وفي عام ١٩٨٢، تم توسيع امتداد نظام معالجة الأرض في المنطقة بإضافة مزرعة هانكوك القريبة إلى نظام الري بمياه الصرف الصحي، وصهاريج تخزين إضافية، ونظم الري المحورية. وبعد توسيع النظام، تحسنت جودة المياه الجوفية خلال الفترة من ١٩٨٢ إلى ١٩٨٧ في أكثر من ٢٧ بئراً للمراقبة.

ومشروع حماية المياه الثاني بولاية فلوريدا، هو مثال ممتاز آخر على استخدام المياه المعالجة في الزراعة (Cross and Jackson, 1993; Parsons *et al.*, 1995). فالمياه المعالجة من مياه الصرف الصحي البلدية بمقاطعتي أورلاند وأورانج كاونتي يتم استخدامها في ري ما يربو على ٣٠٠٠ هكتار من الحمضيات. وفي عام ١٩٥٥، وصل النظام متوسطاً بلغ ٩٥,٠٠٠ م^{3}/يوم. ومياه الصرف الصحي البلدية تتلقى معالجة ثلاثية وتطهيراً، ومن ثم تكون لها جودة تكافئ جودة المياه الصالحة للشرب باستثناء ما بها من محتوى غير معلوم من الكائنات الأولية ومحتوى منخفض من العناصر المغذية. ويتم تسليم المياه المعالجة عند ضغط التشغيل حتى حدود ملكية مزرعة المحاصيل الحمضية بدون أي تكلفة. وزيادة المياه المعالجة في الاستهلاك المائي المقدر المحصول (ET) في الحمضيات يتم التخلص منها في أحواض تسرب سريع وذلك لتغذية الطبقة الجوفية لولاية فلوريدا. ومنافع هذا النظام بارزة. فمقاطعتا أورلاند وأورانج كاونتي يستوفيان مرسوم الوصول إلى المنسوب الصفري من تصريف مياه الصرف البلدية في المياه السطحية، وزراع الحمضيات ينتفعون مجاناً من الماء تحت الضغط بما يحويه من العناصر المغذية، فيقل معدل الضخّ الصافي من الطبقة

الجوفية لولاية فلوريدا، كما أن موقف الرأي العام تغير. فأصحاب الرأي العام والمزارعون على السواء صاروا الآن ينظرون إلى المياه المعالجة باعتبارها كمصدر للمياه، بدلاً من اعتبارها مشكلة صرف (Parsons *et al.*, 1995). وأحد الجوانب المهمة في مشروع "*حماية المياه الثاني*" هو أن المياه المعالجة يتم استخدامها في الري بالرش والري الدقيق لمحاصيل الغذاء البشري، على الرغم من أن النباتات يتم تقشيرها قبل استهلاكها.

(٢٠,٢) مكونات وخصائص مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة

إن جودة مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة تتأثر بمجموعة كبيرة من المكونات الكيميائية، والبيولوجية والفيزيائية، مع نطاق واسع من التركيزات. والعناصر المكونة والتركيزات يعتمدان على مصدر المياه، وطبيعة الصناعة أو النشاط المولد لمياه الصرف الصحي، ونوعية ودرجة المعالجة، بما يشمل درجة التخزين قبل الاستخدام. والجدول رقم (٢٠,١) يقدم أمثلة على تركيزات المكونات الرئيسية.

والمكونات الكيميائية موضع القلق تشمل الشوائب الصلبة (الأملاح) التامة الذوبان، والغازات الذائبة (مثل الأمونيا)، وأيونات العناصر والمركبات (مثل الصوديوم والكلور، والنترات)، والمعادن الثقيلة (العناصر الأثرية)، والقلوية، والمركبات الأثرية العضوية، والزيوت والشحوم. وتتميز تركيزات الشوائب الصلبة الذائبة بالتوصيل الكهربي. أما تركيز الصوديوم فقد يتميز بنسبة امتصاص الصوديوم. وكل من نشاط أيون الهيدروجين (pH)، وطاقة جهد الاختزال والأكسدة (Eh) هما من المميزات الكيميائية الهامة. أما المكونات البيولوجية ذات الأهمية فتشمل البكتريا، والفيروسات، والأوليات، والديدان الطفيلية (كالديدان الخيطية، والديدان الشريطية، والديدان المستديرة) وعوالق البناء الضوئي (بشكل أساسي الطحالب)، والحيوانات العالقة، بالإضافة إلى المواد العضوية.

الجدول رقم (١,٢٠). أمثلة على تركيزات العناصر المكونة لمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة.

مثال رقم[أ]	نوع وموقع ومصدر المياه المتدنية	التركيزات[ب]					
		BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)	NH_3-N (mg/L)	Total N (mg/L)	P (mg/L)	TSS (mg/L)
١	مياه صرف بلدية، متوسطة القوة وغير معالجة.	٢٢٠	٥٠٠	٢٥	صفر	٨	٢٢٠
٢	مياه صرف بلدية، عالية القوة.	٤٠٠	١٠٠٠	٥٠	٨٥	١٥	٣٥٠
٣	دفق (مجاري) وحدة المعالجة – بمنطقة **Lubbock** بولاية تكساس.	١٧٥		١٧	٢٤	٩	
٤	دفق (مجاري) بركة الإحتجاز البلدية بمنطقة **Tallahassee** بولاية فلوريدا.	١٢	٦٥	٢	٦	٧	٣٠
٥	مشروع "حماية المياه الثاني"، مقاطعة **Orange** بولاية فلوريدا.	أقل من ٥		صفر		٥	أقل من ٥
٦	بحيرة عملية التغذية المركزة لحيوانات مزارع الألبان (**CAFO**).	١٥٠٠	٣٥٠	١٢٠	٢٠٠	٥٨	
٧	بحيرة الجريان السطحي لعملية التغذية المركزة لأبقار (التسمين) (**CAFO**).	١٤٠٠		١٨٠	٢٠٠		
٨	بحيرة عملية التغذية المركزة للخنازير (**CAFO**).	١٢٠٠	٤٠٠	٢٢٠	٣٤٩	٧٦	
٩	بحيرة عملية التغذية المركزة للدواجن (**CAFO**).			٥٥٠	٧٥٠	١٠٠	
١٠	شركة "" بولاية تكساس – معمل الألبان (**A**) صالة الحلب.		٦٣٩٧	٢٤٨	٢٦٠	٨٥	٢٨٨٤
١١	شركة "" بولاية تكساس – معمل الألبان (**A**) البحيرة الأساسية.		١٤٨٠	١٦١	١٧٢	٥٣	٨٣٩
١٢	شركة "" بولاية تكساس – معمل الألبان (**A**) بحيرة المرحلة الثانية.		٦٥٠	١١٧	١١٧	٣٩	٤٨٠
١٣	شركة "" بولاية تكساس – معمل الألبان (**B**) البحيرة الأساسية.		٢٤٦٧	٢٦٧	٢٨٢	٥٥	٢٣٣٣

تابع الجدول رقم (١٠,٢٠).

مثال رقم[أ]	نوع وموقع ومصدر المياه المتدنية	التركيزات[ب]					
		BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)	NH_3-N (mg/L)	Total N (mg/L)	P (mg/L)	TSS (mg/L)
١٤	دفق بحيرة الخنازير بمنطقة Piedmont بولاية كارولينا الجنوبية.		١٥٠٠	٨٠	١٧٥	٨٠	
١٥	مدينة باريس، ولاية تكساس، نظام معالجة التقوية للدفق السطحي لمياه الصرف.	٥٥٠	١١٩٠	٠,٧	٢٨	٦	٧٩٥
١٦	معالجة (لحوم) الخنازير، ولاية كاليفورنيا.	٩٥٠			٣٣		٢٨٨
١٧	معالجة البن – ولاية أوهايو.	١١٤٥	٣١٤٨	٩١	١٨٦	١٢	٩٦٠
١٨	معالجة الخضروات – واشنطون.	١٤٤٠	٢١٩٠		٣٠	٩	٦٩٠
١٩	معالجة اللحوم – المملكة المتحدة.		١٩٠٠	٣٠	١١٥	١٥	٦٤٠

(أ) مصادر القيم الموضوعة للأمثلة من رقم (١) إلى (١٩):	
وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA لعام ١٩٨١ ، و(Tchobanoglous and Burton, 1991).	١ – ٢
(George *et al.*, 1987)	٣
(Overman and Schanze, 1985)	٤
(Cross and Jackson, 1993)	٥
(SCS, 1992)	٦ – ٩
(Sweeten and Wolfe, 1994)	١٠ – ١٣
(Hegg *et al.*, 1984)	١٤
(Tedaldi and Loehr, 1992)	١٥
(Crites, 1987)	١٦
(Loehr *et al.*, 1988)	١٧
(Jones *et al.*, 1993)	١٨
(Russell *et al.*, 1993)	١٩

(ب) BOD_5 هو محتوي الأوكسجين البيولوجي بطريقة الأيام الخمس، COD فهو محتوي الاوكسجين الكيميائي، NH_3-N فهو نيتروجين الأمونيا، total N فهو إجمالي النيتروجين، P فهو الفسفور، أما TSS فهو إجمالي الشوائب الصلبة العالقة.

أما المركبات التي تحتاج إلى الأوكسجين من أجل التحلل الميكروبي فتتميز بالحاجة إلى الأوكسجين البيوكيميائي (BOD) أو الحاجة إلى الأوكسجين الكيميائي (COD). أما الخصائص الفيزيائية المميزة لمياه الصرف فتوصف بشكل نمطي بواسطة الشوائب الصلبة العالقة، والمواد القابلة للترسيب، واللون، والصفاء، والرائحة، ودرجة الحرارة. وهذا الجزء يناقش في إيجاز العناصر المكونة ذات الأهمية في مجال الري بمياه الصرف الصحي، والمعالجة البطيئة المعدل للأرض بمياه الصرف. والدراسات التالية تشتمل على أوصاف أكثر اكتمالاً وهي: تشبونوجلز وبيرتون Tchobanoglous and Burton (1991)، وغرينبرج وآخرون (1992) Greenberg *et al.*، ووكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA (1981)، وريد وآخرون (1988) Reed *et al.*، و(1994) USGA. كما أن الطرق القياسية لتحديد وجود ومظهر كافة المكونات وخصائصها المميزة وتركيزاتها هي منشورة تحت عنوان "الطرق القياسية لفحص مياه الشرب ومياه الصرف" بدراسة (Greenberg *et al.*, 1992).

(١,٢,٢٠) المكونات والخصائص الكيميائية

إن نترات النيتروجين (NO_3-N) والفوسفات (النوع PO_4) هم الأنيونات الكيميائية الأساسية ذات الأهمية والقلق في مياه الصرف والمياه المعالجة. والنترات الموجودة في الماء الذي يستهلكه الأطفال الرضّع من البشر تتداخل مع مقدرة هيموجلوبين الدم على نقل الأوكسجين (NAS, 1978)، ويطلق على هذا المرض اسم ميثيموجاوبينيميا (methemoglobinemia) أو (متلازمة الرضيع الأزرق)، ولتجنب هذا المرض وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA معياراً قياسياً لمياه الشرب قدره ١٠ مجم من نترات النتروجين لكل لتر ماء. كما أن النترات هي أيضاً سامة للحيوانات حين يكون هناك مستويات مرتفعة منها في العلف، والنترات تسهم أيضاً في عملية نضوب المياه السطحية. والأمونيا والنيتريتات تكون سامة للنباتات والحيوانات والإنسان على السواء في ظل ظروف معينة. أما الفسفور فهو في الغالب

العنصر المغذي الفاصل في المسطحات المائية السطحية، ومن ثم فهو بشكل متواتر يتم ربطه بعملية إغناء المياه بالمغذيات العضوية، وعندما تصبح مستويات الفسفور (P) عالية، لاسيما فيما له علاقة بكل من النيتروجين (N) والكربون العضوي، فإن ازدياد الطحالب سيغير بشكل بارز من التكوين البيولوجي والكيميائي لمسطح الماء السطحي.

(٢٠,٢,١,١) النيتروجين

إن أشكال النيتروجين في مياه الصرف الصحي تأتي في صورة نترات النيتروجين (NO_3-N)، والأمونيا، والنيتروجين العضوي، ونيتروجين كيلدال الكلي (TKN). وأيون الأمونيا (NH_3)، وأيون الأمونيوم (NH_4^+) يتواجدان في المحاليل المائية في توازن يعتمد كثيراً على الرقم الهيدروجيني pH. فكلما زاد الرقم الهيدروجيني pH عن ٧، زادت النسبة النسبية للأمونيا أضعافاً مضاعفة. أما النيتروجين العضوي فيتم تعريفه وظيفياً على أنه النيتروجين المرتبط عضوياً في حالة الأكسدة الثلاثية السلبية، ومن ثم فهو لا يشمل كل مركبات النيتروجين العضوية. فالنيتروجين العضوي يشمل البروتينات، والببتيدات، والأحماض النووية، واليوريا، والعديد من المواد العضوية التخليقية. ونيتروجين كيلدال (TKN) هو اصطلاح يعكس طريقة تحديد النيتروجين العضوي، والأمونيا بإحدى طرق التحليل. أما النيتريت (NO_2) فهو حالة أكسدة وسيطة للنيتروجين، سواء في أكسدة الأمونيم إلى نيتريت، أو في اختزال النترات.

(٢٠,٢,١,٢) الفسفور

إن مركبات الفوسفور (P) يتم تصنيفها إلى مركبات الأورثوفوسفات (أو المركبات أُحادية الفسفور)، ومركبات الفوسفات المكثفة (البوليفوسفات أو المركبات المتعددة الفسفور)، ومركبات الفوسفات ذات الروابط العضوية. أما مركبات الفوسفات التي تستجيب للاختبارات اللونية، بدون تحلل أولي، أو هضم مؤكسد للعينة، فتسمى اصطلاحاً بمركبات الفسفور التفاعلية، وهي بشكل كبير مقياس لتركيز مركبات الأورثوفوسفات (أو المركبات أحادية الفسفور). أما مركبات الفوسفات

المكثفة أو مركبات الفسفور القابلة للتحلل مع الأحماض فهي الجزء الذي يتحول إلى مركبات الأورثوفوسفات (أو المركبات أحادية الفسفور) فقط بواسطة التفكيك المؤكسد للمادة العضوية في العينة. أما الفسفور الإجمالي فهو إجمالي كل من مركبات الفسفور التفاعلية، ومركبات الفسفور القابلة للتميؤ (التحلل) مع الأحماض، ومركبات الفسفور العضوي. ومختلف أشكال مركبات الفسفور التي تظهر في المحاليل، أو الجزيئات أو البقايا الثقيلة، أو في أجسام الكائنات المائية. ولا تزال بعض مركبات الفسفور تستخدم في تركيبات التنظيف التجارية، وفي معالجة مياه الغلايات. وتتكون مركبات الفوسفات العضوية بواسطة عمليات بيولوجية، وتدخل في مكونات مياه الصرف الصحي مع مادة البراز، وبقايا النباتات، ومخلفات الطعام.

(٣,١,٢,٠ ٢) الكربون

إن إجمالي الكربون في مياه الصرف الصحي يتكون من مركبات الكربون غير العضوي [الكربونات (CO_3^{2-})، والبيكربونات (HCO_3^-)، وثاني أوكسيد الكربون التام الذوبان] والكربون العضوي. أما إجمالي الكربون العضوي (TOC) فيستخدم لوصف المواد العضوية المتحللة في مياه الصرف. والكربون العضوي في الماء وفي مياه الصرف الصحي يتكون من تشكيلة منوعة من المركبات العضوية في مختلف حالات الأكسدة. ويتم استخدام الأوكسجين البيوكيميائي (BOD) والأوكسجين الكيميائي (COD) لوصف الأجزاء التي يمكن أكسدتها بواسطة العمليات البيولوجية أوالكيميائية. ووجود الكربون العضوي الذي لا يستجيب لأي من هذه الاختبارات يجعل هذه الاختبارات غير ملائمة لقياس إجمالي الكربون العضوي. فإجمالي الكربون العضوي مستقل عن حالة أكسدة المادة العضوية ولا يعمل على قياس العناصر الأخرى ذات الروابط العضوية، مثل النيتروجين والهيدروجين، ولا حتى المكونات غير العضوية التي يمكن لها أن تسهم في الطلب على الأوكسجين المقاس في اختبارات (BOD) و (COD). واختبارات قياس إجمالي الكربون العضوي (TOC) تعتمد على تفكيك الجزيئات

العضوية إلى وحدات كربون مفردة تتحول إلى صورة جزيء منفرد (ثاني أكسيد كربون) يمكن قياسه كمياً.

(٢٠,٢,١,٤) الزيوت والشحوم

إن تجمعات الزيوت والشحوم في مياه الصرف الصحي تتحدد بالمقدار الذي يستخرجه محلول معين (هو في العادة الإيثان ثلاثي الكلور ثلاثي الفلور)، مقابل الكمية المطلقة لمادة محددة. وأغلب المواد في مجموعة الزيوت والشحوم هي من الهيدروكربونات المعدنية، والليبيدات (الدهون) البيولوجية. وتلك تشمل المادة الدهنية الآتية من مصادر حيوانية ونباتية، والهيدروكربونات ذات الأصول البترولية. وكذلك فإن مجموعة الزيوت والشحوم تشمل المواد غير الطيّارة المستخرجة بالمحلول من عينة مُحَمَّضة. وهذه المواد تشمل الكلوروفيل، ومركبات الكبريت، وأصباغاً عضوية معينة. ويمكن للزيوت التقليل من إنبات البذور، مع خفض إنتاجية المحصول عند توزيعها بمعدل مرتفع. أما الشحوم فسوف تقلل من نفاذية التربة، وسيكون لها تأثير سلبي على الكائنات الحية الدقيقة بالتربة (Ritter, 1987). ويغلب ظهور الزيوت والشحوم في مياه الصرف الصحي من عمليات التصنيع الغذائي، لاسيما الدواجن وتعليب اللحوم. ومياه الصرف الناتجة عن عمليات معالجة لحوم الدواجن تحتوي على ما بين ١٧٠ و٢٣٠ مجم/لتر من الزيوت والشحوم (Ritter, 1987).

(٢٠,٢,١,٥) البورون

إن تركيزات البورون في مياه الصرف الصحي البلدية ستكون أعلى من تركيزاتها في المياه المصدرية كنتيجة لمحتوى البورون الموجود في المنظفات المنزلية والتجارية. فمستويات البورون المثالية تتراوح ما بين أقل من ٠,١ مجم/لتر وأكثر من ٤ مجم/لتر. والحد الأقصى الموصى لمستوى البورون في مياه الري هو ٢,٠ مجم/لتر (انظر الفصل السابع). فالبورون هو أنيون ومن ثم لا تحتجزه مواضع تبادل التربة، ولكن مركبات البورات يتم احتجازها بشكل معتدل بمواضع تبادل كاتيونات التربة (أيوناتها

الموجبة). ويذكر عن البورون أنه صعب الترشيح من الآنيونات الأخرى، مما يستلزم ضعف قدر ماء الترشيح (Peacock,1994). وتظهر سُميّة البورون أكثر في المحاصيل الشجرية، وتظهر في صورة حروق طرفية وهامشية في الأوراق. ولن تظهر سمية البورون بشكل اعتيادي في العشب الأخضر؛ لأن البورون الذي يتراكم يزول مع القص المتكرر للعشب.

(٢٠,٢,١,٦) أيونات أخرى

إن تحديد الآنيونات الشائعة مثل آنيونات البروميد، والكلوريد، والفلوريد، والنترات، والفوسفات، والكبريتات، هو أمر مرغوب لتحديد الخصائص المميزة للماء ولتقدير الحاجة إلى معالجة معينة. وطريقة الفصل اللوني للآيونات بشكل نموذجي يتم استخدامها لتحديد الآيونات الموجودة في عينة الماء. فالأمر يقتضي معرفة تركيزات آيونات الصوديوم، والكالسيوم، والماغنسيوم لحساب نسبة امتصاص الصوديوم (SAR). فمعرفة ملوحة ونسبة امتصاص الصوديوم (SAR) في مياه الري من أي مصدرٍ كان أمر ضروري نتيجة للتأثيرات السلبية لارتفاع نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) على خواص التربة. أما الكلوريد فقد يكون ساماً للنبات حين يتم توزيعه على الأوراق الخضراء لنباتات معينة. ويزداد تآكل المعادن المختلفة في نظم الري حين تكون لمياه الصرف الصحي ملوحة عالية، بسبب ازدياد التوصيل الكهربي للماء. وقد يتطلب الأمر اللجوء إلى استخدام الأنابيب المؤيَّنة (المؤكسدة)، وتجنب المعادن المختلفة ونظم التيار الكهربائي ما لم تكن هناك حاجة لها (Tchobanoglous and Burton, 1991; Fox and Nuss, 1987).

وهناك معلومات تفصيلية حول كل من الملوحة، ونسبة امتصاص الصوديوم (SAR)، والتأثيرات الكاتيونية المعينة على النباتات والتربة، واردة جميعاً في أقسام أخرى من هذا الكتاب (بالتحديد في الفصل السابع)، وفي دراسة تانجي (1990) Tanji. فأما ملوحة مياه الصرف الصحي فستنشأ عن ملوحة المياه المصدرية ذاتها، والتركيزات الناشئة مع إعادة التدوير (مثل استخدام ماء المجاري المتدفق كماء غسيل بالدفق)، والتركيز الناتج

عن تبخر مياه الصرف الصحي، وعن عمليات الأعلاف الحيوانية المركزة (CAFOs). وهناك آيونات معينة تنشأ عن عمليات التصنيع الغذائي. فعلى سبيل المثال، فإن عمليات التقشير بالمواد الكاوية لثمار الخوخ والبطاطس تتسبب في ظهور نسبة مرتفعة من الصوديوم في مياه الصرف الصحي، ومياه الصرف الصحي لعمليات معالجة السكر تحتوي على مستويات مرتفعة من الكبريت، ومياه الصرف الصحي لعمليات معالجة المأكولات البحرية تحتوي على مستويات مرتفعة من النترات والصوديوم (Ritter 1987)، ومياه الصرف الصحي عالية القوة لعمليات الإطعام المركزة للحيوانات (CAFO) ستكون بها تركيزات عالية من الملوحة، والكلوريد، والصوديوم، والآمونيوم، ومركبات الأورثوفوسفات (أو المركبات أحادية الفسفور) (Sweeten and Wolfe, 1994).

(٧,١,٢,٢٠) المعادن الثقيلة

إن المعادن الثقيلة (والمعروفة كذلك بالمعادن الأثرية أو العناصر الأثرية) هي التي تثير القلق في مياه الصرف الصحي لأنها تتراكم في السلسلة الغذائية لتبلغ تركيزاً ساماً وقد تتحرك عبر التربة لتدخل إلى المياه الجوفية (USEPA, 1981).

والمعادن الثقيلة تتواجد بتركيزات منخفضة في مياه الصرف الصحي المحلية (البلدية) التي تتميز بأقل مكونات صناعية، وكذلك في مياه الصرف الناتجة عن عمليات التصنيع الغذائي. أما مياه الصرف الآتية من الصناعات الحيوانية فسيكون بها تركيزات متدنية من النحاس والحديد وربما معادن أخرى ناتجة عن الإضافات الغذائية والمضادات الحيوية، ولكن تلك لابد أن تكون تركيزات متدنية بشكل نسبي ولا تمثل بالطبع مصدر قلق عند ري الأرض. ففي مياه الصرف، تميل المعادن الثقيلة إلى مركبات الهيدروكسيدات المعدنية، ومركبات الفوسفات، ومركبات الكربونات، وغير ذلك من المواد المترسبة التي تقوم بامتزاز المواد العضوية الصلبة أو التي تترسب مع المكونات الأخرى (Page and Chang, 1981). وهذه المركبات لها قابلية ذوبان متدنية، وسوف تقوم جسيمات التربة بترشيحها بشكل فعال. فمع احتجاز الكاتيونات والمعادن

الثقيلة عن مواضع تبادل كاتيونات التربة، فإنها لا تتحرك بسهولة في طبقات التربة (Ritter, 1987; McBride, 1994).

كاتيونات المعادن الثقيلة، على خلاف كاتيونات الصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم، لا تترسب بسهولة في مواضع تبادل الكاتيونات بسبب تركيزاتها المتدنية بشكل نمطي. وعلى كل الأحوال، فإن امتصاص النبات لها سيظهر فقط عندما تكون المعادن موجودة في صورة قابلة للذوبان أو للتبادل. وبوجه عام، يحدث ذلك حين تكون مواضع تبادل كاتيونات التربة مشغولة، وحين يكون رقم أيون الهيدروجين (pH) للتربة أقل من ٦,٥ (USEPA, 1981). فعند معدلات التطبيق التي تتم مواجهتها بشكل اعتيادي، نجد أن التربة تكون لها القدرة على امتصاص المعادن الثقيلة تكافئ على الأقل قدرتها على امتصاص الفسفور. وعندما تقوم النباتات بامتصاص المعادن الثقيلة، نجد أن أغلب المعادن سوف تتسبب في ظهور أعراض مرضية مرئية بالعين في النباتات أو تتسبب في موت النبات قبل أن يصير تركيز المعادن في مجموعة الأوراق النباتية ساماً للحيوانات والبشر. وتعتبر معادن الكادميوم، والنحاس، والمولبدنيوم، بمثابة استثناءات لأن التركيزات السامة تتراكم في أنسجة النباتات قبل أن تظهر الأعراض المرضية عليها.

الكادميوم سام للحيوانات والبشر وأشكال الحياة المائية عند تركيزات متدنية حتى ١٥ مجم/لتر، ويعتبر مادة مسرطنة. وقد يدخل الكادميوم إلى المياه عبر المصارف الصناعية من خلال تحلل الأنابيب المجلفنة، حيث يكون الكادميوم إحدى شوائب الزنك. أما النحاس، والمولبدنيوم، والنيكل، والرصاص، والزنك، وغيرها من المعادن الثقيلة الأخرى التي تتواجد في مياه الصرف الصحي، فالنحاس سام للنباتات عند تركيزات تتراوح ما بين ٠,١ و١,٠ مجم/لتر، ويمكن له أن يكون ساما للحيوانات المجترّة، لاسيما الأغنام، ولكنه لا يمثل تهديداً لصحة البشر. أما المولبدنيوم فهو ليس ساماً في التربة والمياه عند التركيزات الطبيعية له، ولكنه يكون ساماً للحيوانات عند تركيز يتراوح ما بين ١٠ و٢٠ مجم/لتر في الأعلاف الخضراء التي ينخفض فيها تركيز النحاس.

أما النيكل فهو سام لعدد من النباتات عند تركيزات تتراوح ما بين ٠,٥ و ١,٠ مجم/لتر. أما الزنك فهو من العناصر المغذية الضرورية، ولكنه يعتبر ساماً كذلك بالنسبة للكثير من النباتات مع تفاوت تركيزاته. والتأثيرات السامة على النباتات، هي أكثر شيوعاً في التربة الحمضية منها في التربة القلوية (القاعدية). أما الرصاص فهو مادة سامة خطيرة، تتراكم في أنسجة جسم الإنسان. والرصاص يأتي للماء من تفكك أدوات السباكة القديمة المصنوعة من الرصاص، أو من وصلات الأنابيب الملحومة والمتلامسة مع الماء الحامضي الميسر (أي المزال عُسره). والرصاص على كل الأحوال، نجده ثابت الحركة بشكل كبير في التربة، ولا يحتمل أن تمتصه النباتات (Ritter, 1987). وقد تكون المعادن الثقيلة الأخرى موضع قلق، إذا ما تم استخدام مياه الصرف الصناعي في معالجة الأراضي.

ويمكن تحديد وجود المعادن وتركيزاتها باتباع طريقة الامتصاص الذري وطرق أخرى.

(٢٠,٢,١,٨) خصائص كيميائية أخرى

إن قلوية الماء تشير إلى قدرتها على معادلة الأحماض. وهي محصلة كافة القلويات القابلة للمعايرة، ومن ثم فهي خاصية تراكمية للماء. والقلوية هي بشكل أساسي خاصية وظيفية لمحتوى الكربونات، والبيكربونات، ومحتوى الهيدروكسيد، على الرغم من أنها تشمل أيضاً مساهمة من طرف مركبات البورات، أو الفوسفات، أو السيليكات، أو غيرهم من القلويات.

أما حامضية الماء فتشير إلى قدرته الكمية على التفاعل مع القواعد (القلويات) القوية لبلوغ نشاط معين لأيون الهيدروجين pH. والحامضية هي قياس لخاصية تراكمية للماء، ويمكن تأويلها فقط حين يكون التكوين الكيميائي للعينة معروفاً.

والحامضية تسهم في القدرة على التآكل، وتؤثر في معدلات التفاعل الكيميائي، وفي التصنيف إلى أنواع كيميائية جديدة، وفي العمليات البيولوجية. ويتم تقدير الحامضية بالمعايرة على نقطة تعادل نشاط أيون الهيدروجين pH.

أما تفاعلات الأكسدة والاختزال (الإخسدة) فتحدد سلوك الكثير من المكونات الكيميائية في مياه الصرف الصحي، بالإضافة إلى الكثير من التجمعات المائية في البيئة المحيطة. وكل من نشاط التفاعل وقابلية الحركة للعناصر المهمة في الأنظمة البيولوجية، يعتمدان بقوة على ظروف تفاعلات الأكسدة والاختزال (الإخسدة). فتفاعلات كل من الالكترونات والبروتونات هي رهن بنشاط أيون الهيدروجين pH وطاقة جهد الاختزال والأكسدة Eh. فطاقة جهد الاختزال والأكسدة Eh مثلها مثل نشاط أيون الهيدروجين pH، تعبر عن عامل تركيز، لكنها لا تميز القدرة على الأكسدة أو الاختزال.

(٢٠,٢,٢) المقومات والخصائص البيولوجية

(٢٠,٢,٢,١) المسببات المرضية

إن الكائنات المسببة للأمراض تتواجد في كافة مياه الصرف الصحي، ولابد من اعتبارها موجودة كذلك في كافة المياه السطحية. والجزء رقم (٢٠,٤,١) يصف هذه الكائنات المسببة للأمراض.

(٢٠,٢,٢,٢) المادة العضوية

إن مياه الصرف الصحي التي لم تتلق معالجة ثلاثية كاملة، ستحتوي على المادة العضوية. والمؤشرات القياسية على محتوى المادة العضوية هي كل من المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD)، والمحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي (COD)، وإجمالي الكربون العضوي (TOC)، وهو ما تم ذكره آنفاً.

(٢٠,٢,٢,٣) المحتوى المطلوب من الأوكسجين

إن تحديدات كل من المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD)، والمحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي (COD)، هي اختبارات تجريبية لقياس متطلبات الأوكسجين النسبية لمياه الصرف الصحي، والنفايات السائلة، والمياه الملوثة. فأما المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD) فهو المقدار المطلوب من الأوكسجين الذائب لاستيفاء احتياجات عمليات الأيض الحيوي للكائنات المجهرية التي

تقوم بتحليل المادة العضوية الكربونية في عينة الماء (Loehr *et al.*, 1979)، ويستخدم كأحد القياسات غير المباشرة للتركيز العضوي القابل للتحلل في العينة. واختبار المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD) يشمل كذلك الأوكسجين المستخدم في أكسدة المادة غير العضوية مثل مركبات الكبريتيد، ومركبات الحديد ثنائي التكافؤ (الحديدوز). ودراسة تشوبانجلوز وبرتون (1991) Tchobanoglous and Burton تزودنا بتفاصيل كل من الاختبارات المعملية، والقيود المعملية، وحركية التفاعل اللازمين لتحديد المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD).

أما المحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي (COD)، فهو مقياس كميّ لمقدار الأوكسجين اللازم للأكسدة الكيميائية القوية للمادة العضوية الكربونية. والأمونيا لا تتأكسد ما لم يكن هناك تركيز بارز من أيونات الكلور. والمحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي (COD) في مياه الصرف الصحي بشكل عام أعلى من المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD)، لأن المزيد من المركبات يمكن أن تتم أكسدتها كيميائياً أكثر من أكسدتها بيولوجياً (Tchobanoglous and Burton, 1991).

(٢٠,٢,٢,٤) المواد العضوية الأثرية

إن المركبات العضوية الأثرية مثل مبيدات الآفات، وغيرها من المواد الكيماوية الزراعية تكون سامة وتمثل ملوثات هامة لمياه الصرف الصحي. وأغلب المواد العضوية الأثرية تتم إزالتها بشكل فعال بواسطة معالجة التربة. فالمواد العضوية الأثرية، مثل مبيدات الحشائش، يتم امتزازها، ويتبع ذلك تحللها البيولوجي وتطايرها. ويظهر امتصاص النبات كدالة مع كل من قابلية الذوبان، والحجم، والتركيز والقطبية للجزئي العضوي، ومحتوى المادة العضوية، ونشاط أيون الهيدروجين pH، والنشاط الميكروبي للتربة، والمناخ (USEPA, 1981; Hutchins *et al.*, 1985). ومن غير المحتمل أن يكون امتصاص النبات للمواد العضوية الأثرية كافياً ليمثل تهديدا لصحة الحيوانات والبشر (USEP A, 1981).

(٢٠,٢,٢,٥) الكائنات الحية الدقيقة

نتيجة لوجود محتوى العناصر المغذية في مياه الصرف الصحي، فإن أي تخزين لمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة قبل عملية الري سينتج عنه نمو نشط لعوالق البناء الضوئي وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة. والكائنات الحية الدقيقة التي تمثل مصدر قلق رئيسي في مصادر مياه الري هي الطحالب، وبكتريا الأوحال، والأوليات المستوطنة بالقولون، والتي تؤثر جميعاً في الجودة الكيميائية والفيزيائية للماء.

(٢٠,٢,٣) المقومات والخصائص الفيزيائية

الخصائص الفيزيائية للماء تشمل الرائحة، والأوكسجين الذائب، والمواد الصلبة، واللون، والعكارة. والعكارة تتسبب فيها المواد المعدنية العالقة، والمواد العضوية وغير العضوية دقيقة التفتت، والمركبات العضوية الملونة القابلة للذوبان في الماء، والعوالق النباتية والحيوانية.

وعادة ما ينبئ عن وجود العكارة بمقياس العكارة النفيلينية (NTU)، وهو جهاز يستخدم لقياس حجم وتركيز الجسيمات في السائل من خلال تحليل الضوء الذي يشتته المحلول. أما اللون فهو اللون الحقيقي للماء، بعد إزالة العكارة.

(٢٠,٢,٣,١) الرائحة

الرائحة تتميز بشدتها أو لذتها (أي كونها مبهجة أو غير مبهجة)، وصفتها أو جودتها، والتي عادة ما توصف بكلمات تشير إلى مصدرها المحتمل (Dravnieks, 1979). أما وصف الرائحة بالكريهة فهو مزيج بين الشدة واللذة، بالإضافة إلى المدة والتكرارية. والرائحة هي مشكلة شائعة في معالجة واستخدام مياه الصرف الصحي. وبوجه عام، كلما زادت معالجة مياه الصرف الصحي اكتمالاً قلت مشاكل الرائحة. وتطبيق مياه الصرف الصحي في نظم ري الأراضي يشترط الري بالمياه ذات الحدّ الأدنى من الرائحة الكريهة.

(٢٠,٢,٣,٢) الأوكسجين الذائب

يتصف الأوكسجين الذائب (DO) بكونه ضرورياً للتحلل البيولوجي والكيميائي للمادة العضوية الكربونية والنيتروجينية الموجودة في مياه الصرف الصحي. فإن لم يكن

الأوكسجين الذائب (DO) غير كاف لتلبية احتياجات المادة العضوية من الأوكسجين، فإن الكتلة المائية المتلقية ستتصف بكونها لا هوائية، ربما باستثناء طبقة سطحية رقيقة للغاية. وكافة الكائنات المائية تقريباً، باستثناء البكتريا اللاهوائية، لابد أن تحصل على الأوكسجين الحر للتنفس من أجل البقاء (Wheaton, 1977).

(٢٠,٢,٣,٣) المواد الصلبة

المواد الصلبة تشير إلى المواد العالقة أو الذائبة في الماء أو في مياه الصرف الصحي. والمواد الصلبة تؤثر بصورة سلبية على نوعية مياه الصرف الصحي بطرق عدة. وإجمالي كمية المواد الصلبة يتم تقديرها بواسطة مقدار المخلفات الباقية في وعاء بعد التبخير ثم التجفيف اللاحق في الفرن عند درجة حرارة محددة. وإجمالي المواد الصلبة العالقة (TSS) هي المواد الصلبة التي يتم إزالتها بواسطة المرشّح أو الفلتر (مقياس حجم فتحاته نحو ٢,٠ ميكرومتر أو أقل). أما مصطلح المواد الصلبة الثابتة فهو مصطلح ينطبق على البقية الباقية من إجمالي المواد الصلبة العالقة والمذابة بعد التسخين لفترة محددة عند درجة حرارة محددة. أما النقص في الوزن فهو مقياس للمواد الصلبة المتطايرة.

(٢٠,٢,٤) النوعية المنتقاة من مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة

(٢٠,٢,٤,١) البلدية

مياه الصرف الصحي البلدية يمكن وصفها بأنها متدنية، أو متوسطة أو عالية القوة (Tchobanoglous and Burton, 1991) اعتماداً على تركيزات المكونات الأكثر خطورة، الجدول رقم (٢٠,١).

(٢٠,٢,٤,٢) عملية التغذية المركزة للحيوانات (CAFOs)

إن تدفق مياه مجاري بحيرة عملية التغذية المركزة لحيوانات مزارع الألبان سيكون لها تفاوت كبير في القوة كنتيجة لمصدر المخلفات، والتخفيف بواسطة مياه غسيل صالة الحلب وسقوط مياه الأمطار، والتركيز بواسطة التبخر في المناطق المفتوحة وفي نظام معالجة المخلفات. ومصادر المخلفات تشمل أي توليفة من مخلفات مركز الحلب،

ومخلفات حظيرة الإيواء، ومخلفات حارات التغذية المنظفة بالكشط، وعملية الجريان السطحي في المناطق المفتوحة (SCS, 1992; Sweeten and Wolfe, 1994). واستخدام المياه للبقرة الواحدة كل يوم في مركز الحلب يتراوح ما بين ٢٠ لتراً وما يزيد على ٥٥٠ لتر إذا ما كان يتم استخدام الماء العذب في غسيل الروث بالدفق (SCS, 1992). وعندما يكون الماء العذب محدوداً، يقوم منتجو الألبان باستخدام مياه مجاري البحيرات، من أجل غسيل الروث بالدفق من داخل حارات التغذية. ومياه الصرف الآتية من عمليات الإطعام المركزة لحيوانات الأبقار والدواجن والخنازير سيكون لها تفاوت مماثل في القوة.

(٢٠,٢,٤,٣) مخلفات عمليات التصنيع الغذائي

إن مياه الصرف الصحي الواردة من صناعة الخمور (الجدول رقم (٢٠,١)) تتميز بانخفاض قيمة الرقم الهيدروجيني pH، وانخفاض العناصر المغذية، وبالارتفاع النسبي للمحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي BOD (Crites, 1987). وتتميز مياه الصرف الصحي الخام الواردة من مصنع شركة كامبل للحساء بمدينة باريس بولاية تكساس، بانخفاض النيتروجين والفسفور، ولكنها تتميز كذلك بالارتفاع النسبي للزيوت والشحوم (١٢٥ مجم/لتر)، والمحتوى المطلوب من الأوكسجين. ومياه الصرف الصحي الواردة عن عمليات التصنيع الغذائي تتميز بكونها متفاوتة بشدة فيما يخص محتوى ومستوى المعالجة.

(٢٠,٣) العناصر المغذية في مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة

إن النيتروجين (N)، والفسفور (P) هما من العناصر المغذية للنباتات والتي يمكن التحكم فيها باعتبارها إما مصادر أو ملوثات محتملة لابد من التخلص منها بواسطة أنظمة النبات والتربة خلال عملية معالجة الأرض. فإذا كان سيتم استخدام خزان مع نظام الري، فإن القلق الرئيسي من النيتروجين والفسفور كعناصر مغذية، هو تأثيرهما على مستوى توزيع الغذاء والطاقة في المياه السطحية. وأن تركيزات تبلغ

٠,٣ مجم/لتر من النيتروجين غير العضوي، و٠,٠٢ مجم/لتر من الفسفور غير العضوي، تعتبر عتبة التحمل الحرجة لنمو الطحالب والنباتات المائية الدقيقة في البحيرات (Loehr *et al.*, 1980; Daniel *et al.*, 1993).

الفسفور هو العنصر الغذائي المنفرد الأكثر حسماً في عملية إغناء المياه بالمغذيات العضوية، على الرغم من أن النيتروجين يكون هو العنصر الغذائي الحاسم في المياه التي تحتوي على أكثر من ٠,٠٣ مجم/لتر من الفسفور الذائب أو حين تكون نسبة إجمالي النيتروجين إلى إجمالي الفسفور أقل من ١٥ : ١ (Daniel *et al.*, 1993). ومياه الصرف الصحي البلدية ومياه الصرف الزراعي الحيواني، عادة ما يكون لها نسب إجمالي نيتروجين إلى إجمالي فسفور أقل بكثير من ١٥ : ١، ونموذجياً أقل من ٥ : ١ (الجدول رقم ٢٠,١). وفي الترب، تعتبر النسبة ٧ : ١هي المثالية لامتصاص النباتات (Bowmer and Laut, 1992).

ولابد لمهندس الري أو البيئة أن يكون مدركاً لأشكال النيتروجين والفسفور في مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة. فشكل ومحتوى النيتروجين سيتفاوت بشكل كبير، اعتماداً على المعالجة قبل الري. وسوف تظهر حالات الفقد في النيتروجين والفسفور في برك المعالجة، والخزانات، كدالة مع كيميائية الماء، وبيولوجيته، ومع الظروف البيئية.

النيتروجين في مياه الصرف الصحي عادة ما يكون في صورة النيتروجين العضوي، والآمونيوم والأمونيا. أما محتوى النترات في مياه الصرف الصحي المعالجة بشكل لا هوائي فسوف يكون متدنيا بشكل طبيعي. وعند تحلل المخلفات المعدنية، يتم سدّ الاحتياج المطلوب من الأوكسجين لعمليات الأيض الحيوي الميكروبي أولا من الأوكسجين الذائب المتاح. وتعتبر مركبات النترات هي المصدر التالي للأوكسجين، ومن ثم فإن أي مركب نترات في النظام يتم عندئذ اختزاله إلى الآمونيوم. وعندما يتم تطبيق مياه الصرف الصحي إلى بيئة نبات-تربة هوائية، فإن البكتريا تقوم بأكسدة الأمونيا بحامض النيتريتك إلى نيتريت كحالة وسيطة، ثم إلى نترات. والنترات قابلة للحركة بشكل كبير في الماء السطحي، لكن

الآمونيوم ليس كذلك. فمركب الآمونيوم يتم امتزازه إلى مواضع الشحن السالبة في المعادن الطينية، بسعة امتزاز كافية لاحتجاز كل الآمونيوم الوارد من تطبيقات الري ذات المعدل البطيء (Broadbent and Reisenaur, 1985).

والتحولات البيولوجية للنيتروجين هي تثبيت الحركة، والتمعدن، والنترجة (الأكسدة بحامض النيتريك)، واختزال النيتروجين من المركبات، واحتجاز النيتروجين بواسطة النباتات (Keeney,1983). فأما مصطلح تثبيت الحركة فيشير إلى تحول الأشكال غير العضوية إلى مركبات عضوية. أما مصطلح التمعدن فيشير إلى تحول النيتروجين العضوي إلى مركب الآمونيوم. ويعتبر امتصاص النبات للنيتروجين غير العضوي (النترات والآمونيوم)، والاندماج مع مركبات النبات العضوية، بمثابة عملية تثبيت الحركة الأساسية.

إن محتوى الفسفور في مياه الصرف الصحي، مثله مثل النيتروجين، سيتباين بشكل كبير كدالة مع مصدر ونوع المعالجة. ولابد من تحديد محتوى الفسفور في مياه الصرف الصحي المفترض استخدامها في الري.

الفسفور يتواجد في أشكال عدة في الماء وفي بيئة النبات والتربة. فأما الفسفور الجزيئي فيتكون من مادة عضوية، ومعادن بلورية، ورواسب لا بلورية، الفسفور التفاعلي (بشكل أساسي الأورثوفوسفات) الذي تمتصه وتمتزه حبيبات التربة، لاسيما الطين. وجدير بالملاحظة أن مركبات الأورثوفوسفات هي آنيونات، ومن ثم، لا تسهم في تبادل الكاتيونات، كما أنها لا يتم امتزازها إلى مواضع المعادن الطينية بفروق جهد سالبة الشحنة. ورواسب الفوسفات، والمعادن الفسفورية لها قابلية ذوبان متفاوتة، وجميعها بوجه عام هي منتجات تفاعلية مع الكالسيوم، والحديد، والألمونيوم. والفسفور القابل للذوبان في الماء يتكون من مركبات الأورثوفوسفات (PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$) والمركبات المتعددة الفسفور (P_2O_7)، والمركبات العضوية القابلة للذوبان في الماء. والتمييز بين المركبات المترسبة والقابلة للذوبان في الماء هو أمر ارتجالي نوعا

ما، لأن التمييز بينها يعتمد على قطر مسام المرشح (٠,٤٥ ميكرومتر). وتتسم كيميائية التربة الفسفورية والماء بالتعقيد. وتوجد المزيد من المعلومات بهذا الصدد في دراسة دياز وآخرون (1994) .Diaz *et al*، ومكبيرد (1994) McBride، وستيم ومرجان .Stumm and Morgan (1996)

في محلول التربة، ينشأ توازن بين الفسفور الكائن في المحلول، والفسفور غير المستقر على أسطح حبيبات التربة. ومع إزالة النباتات للفسفور من ماء التربة، تتم استعادة التوازن. أما مركبات الفوسفات القابلة للذوبان في الماء، لاسيما مركبات الأورثوفوسفات، فسوف تنقل مع ماء التربة وسوف تتوازن مع الفسفور غير المستقر. والحكمة التقليدية تقول إن التربة لن يكون لها ناتج ترشيح ذو تركيز كبير من الفوسفات. وهذه الحكمة حقيقية بوجه عام، لاسيما مع التربة المحروثة ذات المحاصيل الصفية، وذات القدرة ما بين المتوسطة والعالية على امتصاص أو امتزاز الفسفور. وخصائص الفسفور في التربة التي تتلقى مياه الصرف الحيوانية أو المخلفات الصلبة الحيوانية تظهر بشكل نمطي انخفاضاً أسياً في التركيز مع العمق (Sharpley *et al.*, 1984 ،Allhands *et al.*, 1995). وبالإضافة إلى اختبارات خصوبة التربة التقليدية، يتم اللجوء إلى استخدام اختبارات التوفر الحيوي لتوفير معلومات تحكم إضافية (Sharpley and Withers, 1994).

(٢٠,٤) المخاوف الصحية

إن الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض، ويشمل ذلك البكتريا، والفيروسات، والطفيليات، تتواجد في المخلفات البشرية والحيوانية، وفي المياه المحتوية على تلك المخلفات (NRC, 1998). وليس هناك من شك في أن ري المحاصيل الغذائية بمياه الصرف الصحي أو بمياه الصرف المعالجة، والملوثة بمياه الصرف الصحي، ينتج عنه ازدياد ظهور الأمراض (Rosas *et al.*, 1984; Rose, 1986; Ali, 1987) أو في وجود احتمال انتقال المرض من جرّاء ري المناطق التي يمكن للعامة الوصول إليها

والمحاصيل الغذائية بمياه الصرف. ويخلص تقرير المجلس القومي للبحوث (NRC, 1996) إلى أن المحاصيل الغذائية المروية بالمياه المعالجة لا تمثل على المستهلكين خطراً أكبر من المحاصيل المروية بالمصادر التقليدية. وتتمثل العناصر الضرورية لوقاية صحة البشر في الالتزام بالمعايير الحكومية الخاصة بالمياه المعالجة، وبضوابط الموقع، وبالاعتماد على نظم ري جيدة.

العناصر المسببة للأمراض يمكن لها أن تنتقل للإنسان من خلال ابتلاع مياه الصرف الصحي، أو استنشاق الرذاذ من المياه المستعملة، أو التلقيح الذاتي أو التلوث الذاتي من الأطعمة أو السوائل بعد التلامس المباشر معها، أو تلوث الأغذية، أو تلوث أعلاف الحيوانات، أو تلوث إمدادات المياه الصالحة للشرب. ولكي يظهر المرض نتيجة للري بمياه الصرف الصحي، لابد لمسببات المرض من أن تنجو من أي عمليات معالجة، وأن تواصل الحياة في تلك البيئة، وأن تكون متواجدة بأعداد كافية لكي ما تسبب المرض في الشخص المعرض للمرض (Rose, 1986). وتعتبر الصحة والسلامة الشاغلين الرئيسيين عند تطبيق استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في ري المناطق العامة، والمحاصيل الغذائية، وزراعات الأعلاف. وعلى الرغم من أنه لم يتم توثيق كون انتقال المرض بواسطة مياه الصرف الصحي المعالجة (وغير الملوثة بمياه الصرف الصحي الخام) يمثل مشكلة (Rose, 1986) إلا أن الماء الملوث من وحدات معالجة مياه الصرف الصحي، و/أو العمليات الحيوانية، كان متورطاً في تفشي الأمراض (مثلاً MacKenzie *et al.*, 1994).

أما بالنسبة لري المناطق العامة بمياه الصرف الصحي البلدية (المحلية)، فإن الدوائر الصحية لا تقبل بوجه عام بأي مخاطر تعلو على المخاطر المحتملة مع الري بالمياه الصالحة للشرب. فمعيار الجودة البيولوجية هو الماء الخالي بشكل أساسي من البكتريا والفيروسات (Asano *et al.*, 1992). وأغلب مشاريع معالجة مياه الصرف الصحي البلدية المعالجة تنتج الماء المتخلف فيه الكلور بتركيز ١ مجم/لتر. وأمثلة ذلك مشروع

ينابيع كلورادو بولاية كلورادو (Schwebach *et al.*, 1988)، ومشروع مدينة أورلاندو بولايـة فلوريـدا (Cross and Jackson, 1993)، ومـشروع مدينـة مـونتيري بولايـة كاليفورنيـا (Sheikh *et al.*, 1990)، ومـشروع مدينـة سـان ديجـو بولايـة كاليفورنيـا (Shamloufard *et al.*, 1995). وري المحاصيل الزراعية بواسطة مياه الـصرف الـصحي البلدية يتم باستخدام المياه التي حظيت بمعالجة ثانوية على الأقل. والأمثلة على ذلك تـشمل مـشروع مقاطعـة مـسكيجون بولايـة ميتـشيجان (Brenner *et al.*, 1988)، ومشروع لوبوك بولاية تكساس (Moore *et al.*, 1988).

والري بمياه الصرف الصحي لابد من اعتباره ينطوي على احتمالية نقل العناصر المسببة للأمراض. والمعلومات المتعلقة بالجودة البيولوجية للماء، أو بالأوبئة ذات الصلة، ليست مفهومة بشكل جيد بما فيه الكفاية لوضع معايير. وليس هناك من دليل على أن الأمر يقتضي وجود لوائح أو معايير تنظيمية، ولكن هناك معلومات كافية للإشارة إلى ضرورة وجود حذر كبير والتزام بالممارسات الموصى بها لوقاية صحة الإنسان.

ونوعية مياه الصرف الصحي المستخدمة في ري محاصيل الأعلاف تكون أمراً له أهميته في مجال عمليات التصنيع الغذائي. فتطبيق استخدام المخلفات الحيوانية على محاصيل الأعلاف المفترض تخزينها كأعلاف هو أمر ينجم عنه ظهور سلالات متعددة من البكتريا مثل البكتريا العصويّة، وبكتريا الكلوستريديوم (Ostling and Lindgren, 1991). فبذور بكتريا الكلوستريديوم ستبقى حية داخل العلف المخزن. ولهذا، يكون لبكتريا الكلوستريديوم تأثير سلبي على عملية التسليج (تخزين الأعلاف)، مما ينتج عنه علف مخزون رديء، وبالتالي ينخفض أداء الحيوان، في حين أن البكتريا العصويّة تساعد علي التفسخ الهوائي للعلف المخزون عندما يتم إخراجه من صومعة تخزين العلف لتقديمه كطعام للحيوانات. فإذا ما دخلت الجراثيم إلى الحليب واللبن من خلال التلوث، وإذا ما تم استخدام اللبن في عمل الأجبان، فقد ينتج نشوء ظاهرة "النفخ" (أي إنتاج حمض البيوتريك والغاز) (Jonsson, 1991) من انصهار الأجبان الصلبة.

"إشريشيا كولاي" هي أكثر أنواع البكتريا تواجداً في روث الحيوانات، ولكن أعدادها تنخفض بشكل كبير بعد أسبوع واحد من التطبيق المتزايد لاستخدام المخلفات على العلف (Rammer *et al.*, 1994). ومخلفات الحيوانات يمكن أيضاً أن تكون مصدراً لجرثومة الليستريا ذات الجينات أحادية الخلية (Husu *et al.*, 1990)، واستهلاك الخضروات النيئة الملوثة بهذه الجرثومة نتيجة استخدام المخلفات الحيوانية غير المعالجة، يسبب داء الليستريا وهو مرض مميت بشكل محتمل.

(٢٠,٤,١) الكائنات الحية البيولوجية الموجودة في مياه الصرف الصحي

إن المكونات البيولوجية الهامة في مياه الصرف الصحي هي الطحالب، والبكتريا، والفيروسات، والأوليات، والديدان الطفيلية. ومن الناحية العملية، فإن كل مياه الصرف بدون المعالجة الثلاثية تحتوي على كائنات حية حاملة للأمراض يمكنها أن تسبب الأمراض للإنسان. فالحويصلات الجرثومية، وحويصلات البيض الجرثومية المسببة للأمراض، تكون موجودة حتى في مياه الصرف الصحي المعالجة المتبقي فيها الكلور بتركيز ١ مجم/لتر. وهناك المزيد من المعلومات الإضافية في دراسة روز Rose (1986)، وشوفال وآخرين Shuval *et al.* (1986). أما المعلومات الخاصة بالطحالب فهي واردة في دراسة قولدمان وآخرين Goldman *et a1.* (1972)، وريدي Reddy (1981)، وفيمازل Vymazal (1995)، وستيم ومارغون Stumm and Morgan (1996).

(٢٠,٤,١,١) البكتريا

إن أبرز أنواع البكتريا الحاملة للأمراض تسبب أمراضاً مثل الدوسنتريا (أو الزحار) وتسببه بكتريا "الشيجيلا"، والتيفود، والالتهاب المعوي، والذي عادة ما تسببه بكتريا "السالمونيلا" وبكتريا "كامبيلوبكتر" وأنواع معينة من بكتريا "إشريشيا كولاي" (Rose, 1986). وهذه السلالات تستوطن القنوات المعوية لدى البشر وغيرهم من الثدييات. وسلالات بكتريا "السالمونيلا" تشيع بشكل خاص في روث الماشية (Thelin and Gifford, 1983) وفضلات البشر (Rose, 1986).

ونوعية بكتريا مياه الصرف الصحي يمكن تقييمها بواسطة مؤشر بكتريا لا تكون مسببة للأمراض. وتلك البكتريا المستخدمة كمؤشر يتم استخدامها لأنها تكون متوافرة في مياه الصرف الصحي بأعداد أكبر من البكتريا المسببة للأمراض، ومن السهل عزلها، ومن المأمون أكثر التعامل معها (Thelin and Gifford, 1983). فإذا ما كانت البكتريا المؤشر متواجدة في عينة الماء، فإنه من المفترض وجود البكتريا المسببة للأمراض أيضًا. ومؤشرات وجود البكتريا في الماء هي إجمالي الأشكال العصوية (TC)، والأشكال العصوية البرازية (FC)، والأشكال البيضوية البرازية (FS). وكل من الأشكال العصوية البرازية (FC)، والأشكال البيضوية البرازية (FS) موجود في براز الإنسان، والماشية والطيور الداجنة. وقد تم نشر العديد من طرق تحديد تركيزات كل من إجمالي الأشكال العصوية (TC)، والأشكال العصوية البرازية (FC)، والأشكال البيضوية البرازية (FS) (مثل، Niemi and Niemi, 1991، و Sherer *et al.*, 1992).

(٢٠,٤,١,٢) الفيروسات

الفيروسات المعوية التي يمكن أن تنتقل في الماء تشمل فيروس شلل الأطفال، والصدى، والالتهاب الكبدي أ، وكوكساكي (Rose, 1986). وفيروس نوروالك، وروتا، وغيرها من الفيروسات الأخرى القادرة على إنتاج العدوى تتواجد أيضاً في مياه الصرف الصحي (Rose, 1986 ، Ward *et al.*, 1989). ويذكر روز (1986) Rose أن وجود الفيروسات في مياه الصرف الصحي هو أمر يسبب القلق لأن هناك ندرة من المعلومات حول ظهور وأهمية تلك الفيروسات، فطرق الفحص تكتشف ما يقل عن ٥٠٪ فقط من الفيروسات الموجودة في العينة، فبقاء الفيروسات على قيد الحياة في البيئة هو أمر ليس معروفاً بشكل جيد، وقد لا يتم التخلص بشكل فعال من الفيروسات في أنظمة المعالجة، فأعداد صغيرة من الفيروسات يمكن لها أن تسبب العدوى، كما أن نظام المؤشر البكتيري لا يعكس دوما وجود الفيروسات من عدمه.

إن المعالجة الثانوية والثلاثية لمياه الصرف الصحي تعملان على التخلص من الفيروسات بكفاءة تبلغ ٩٠٪ إلى ٩٩٪، ولكن بعض الفيروسات ستظل باقية في

أعقاب عملية التطهير (Rose, 1986). ويسود الظن بأن الفيروسات عندما يتم رشها كرذاذ خلال رشاشات الري فإنها تكون أكثر مقاومة للظروف البيئية من البكتريا (Rose, 1986). وبرك معالجة مياه الصرف الصحي، والخزانات لهما تأثير ملحوظ على قابلية الفيروسات للبقاء (Ward and Irving, 1987). وفي دراسة لمنطقة لوبوك ظهرت انخفاضات في واحد أو اثنين من مدخلات إحصاءات الفيروسات (Moore *et al.*, 1988; Ward *et al.*, 1989). ففي ظل الظروف المواتية، يمكن للفيروسات البقاء على قيد الحياة على أسطح الخضروات لأكثر من شهرين. ودرجات الحرارة المتدنية، والرطوبة العالية، ووجود المادة العضوية، والتظليل من أشعة الشمس المباشر، هي أمور واقية من الجفاف ومواتية لاستمرار بقاء الفيروسات (Ward and Irving, 1987). فالفيروسات تموت سريعاً في البيئة الجافة الدافئة. ويسود الظن بأن قابلية الفيروسات للبقاء تنخفض خلال عملية الرش كرذاذ (Schwebach *et al.*, 1988).

(٣,١,٤,٢٠) الديدان الطفيلية

إن الديدان الخيطية، والديدان المستديرة، والديدان الخطافية (كديدان الأنكلستوما)، والديدان الشريطية، والديدان السوطية، هي مستوطنة في مياه الصرف الصحي في مناطق العالم ذات ظروف النظافة المتدنية (Rose, 1986). وبويضات تلك الديدان الطفيلية تساعد على بقائها في مياه الصرف الصحي. فهذه البويضات هي بوجه عام، مقاومة للكلور، ولكنها تستقر أثناء عملية الترسيب. أما البرك ذات معدل الطحالب المرتفع (البرك ذات المعالجة الضحلة والمصممة بشكل خاص لتحظى بكثافة عالية من الطحالب من أجل إنتاج أوكسجين النهار لتقليل طلب مياه الصرف الصحي من الأوكسجين)، وبرك ترسيب المخلفات فهما من الطرق الفعالة إلى حد ما في التخلص من بويضات الديدان الطفيلية (Ayres *et al.*, 1992). وبويضات ديدان الإسكارس الشبيهة بديدان الأرض (وهي من الديدان المستديرة) هي الأكثر مقاومة من بين كل تلك الديدان المعوية المسببة للأمراض، ومن ثم غالباً ما يتم استخدامها كمؤشر على وجود الطفيليات (Rose, 1986; El Hamouri *et al.*, 1994). وتوصي

منظمة الصحة العالمية (في تقريرها لعام ١٩٨٩، والمقتبس من Ayres *et al.*, 1992) بحد أقصى بويضة دودة خيطية معوية بشرية واحدة لكل لتر من مياه الري.

(٢٠,٤,١,٤) طفيليات البروتوزوا

إن طفيل Giardia lamblia، وطفيل G. muris هما من الطفيليات الأولية (البروتوزوا) التي تسبب الإسهال للبشر الذين يبتلعون أكياسهم الجرثومية. والأكياس الجرثومية لطفيل الجيارديا Giardia ينبغي افتراض وجوده في كافة مياه الصرف الصحي والمياه السطحية المستخدمة في الري (LeChavallier *et al.*, 1991). والاحتياطات الواجبة لتفادي العدوى هي نفسها المتبعة في حالة طفيل Cryptosporidium، والذي يعد تهديداً أكثر خطورة في حالة الري بمياه الصرف الصحي. ويعتبر طفيل C. parvum هو الحيوان الأولي الطفيلي المسئول عن تفشي الإسهال الحاد وما يرتبط به من أعراض مرضية (أعراض cryptosporidiosis) في منطقة (Milwaukee) بولاية (Wisconsin) الأمريكية في ربيع عام ١٩٩٣ (MacKenzie *et al.*, 1994).

إن انتشار أكياس البيض الجرثومية لطفيل C. parvum في مياه الصرف الصحي من كافة المصادر، لاسيما تلك الواردة من تصنيع الألبان، وصناعات عجول الألبان، هو أمر يشير إلى الحاجة إلى الحذر وإلى تدابير وقائية عند استخدام مياه الصرف الصحي في الري. وكذلك تقتضي الحاجة اللجوء إلى احتياطات معقولة عند الري بالمياه السطحية من خطوط توزيع المياه الزراعية والحضرية (Ongerth and Stibbs, 1987; Hansen and Ongerth, 1991; LeChevallier *et al.*, 1991).

(٢٠,٤,٢) الجوانب الصحية للري بمياه الصرف الصحي

الدراسة التي دامت لخمس سنوات على مشروع تكرير مياه الري بمنطقة مونتري بولاية كاليفورنيا، أشارت إلى أن استخدام مياه الصرف ذات المعالجة الثلاثية (المياه المعالجة) في ري المحاصيل الغذائية هو أمر آمن ومقبول (Sheikh *et al.*, 1990). وكانت المحاصيل الغذائية المزروعة هي الخرشوف، والكرفس، والبروكلي، والخس، والقرنبيط.

وفي مشروع ينابيع كلورادو بولاية كلورادو، يتم استخدام مياه الصرف الصحي البلدية ذات المعالجة الثلاثية في ري مناطق الحدائق العامة (Schwebach *et al.*, 1988; Durand and Schwebach, 1989). والمعالجة الثلاثية تتكون من ترشيح (فلترة) وكلورة مياه المجاري المتدفقة من وحدة معالجة مياه الصرف الصحي. وكذلك تستخدم المدينة الجبلية مياه عملية الجريان السطحي، بدون معالجة، من أجل ري مناطق الحدائق العامة. وقد تم إجراء دراسة خاصة بعلم الأوبئة لدراسة مستويات الإصابة بالأمراض المعوية المعدية المرتبطة بالري بمياه ذات جودة مختلفة. وخلصت تلك الدراسة إلى أنه لم يكن هناك من فارق بين معدلات حالات الإصابة بالأمراض المعوية المعدية فيما بين رواد الحدائق العامة المروية بمياه صالحة للشرب ونظيراتها بين رواد تلك الحدائق العامة المروية بمياه الصرف الصحي المعالجة. "فأحوال العشب المبلل" من أي مصدر للمياه كانت مرتبطة بزيادة بارزة من الناحية الإحصائية في حالات الإصابة المسجلة بالأمراض المعوية المعدية. وكانت علاقة الارتباط أكثر قوة حين كانت أعداد البكتريا البرازية ذات الأشكال العصوية (FC) أو الأشكال البيضوية (FS) في مياه الري أعلى من ٥٠٠/١٠٠ ملل. وقد طرح باحثو هذه الدراسة فرضية مفادها أن السموم الداخلية الناتجة من البكتريا المعوية الحية أو الميتة هي شائعة التواجد في العشب، وأنها تنتقل إلى البشر من العشب الرطب.

وقد تم إجراء العديد من الدراسات الوبائية حول المخاطر الصحية الناجمة عن الري بمياه الصرف الصحي، في إسرائيل، حيث يتم استخدام ٧٠٪ من تدفق مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية للدولة كمصدر لمياه الري (Shuval *et al.*, 1989). وأغلب مياه الصرف الصحي تتلقى معالجة أولية، ومعالجة ثانوية في برك الترسيب. وقد أجرى شوفال وآخرون Shuval *et al.* (1989) دراسة حول عمال الري، وعائلاتهم، عامة السكان في ٢٠ مستوطنة زراعية. وكانت نوعية مياه الصرف الصحي المستخدمة في الري رديئة، وتبلغ فيها أعداد الأشكال العصوية للبكتريا نحو $١٠^٤$ إلى $١٠^٥$ لكل ١٠٠ ملل. وقد خلص الباحثون إلى أن مستويات الإصابة بالأمراض المعوية

لم تكن أكبر لدي عمال الري بمياه الصرف الصحي، أو عائلاتهم، أو السكان الذين ربما كانوا على اتصال برذاذ مياه الري، مما هي عليه لدى عامة السكان بوجه عام. وقد رصدت الدراسات أن مستويات متدنية من البكتريا والفيروسات في منشأ مياه الصرف الصحي عثر عليها على مسافات تبلغ حتى ٧٣٠ م باتجاه الرياح من الحقل المروي.

استطلاع دراسة العدوى بمنطقة لوبوك (LISS)، وهي دراسة للمخاطر الوبائية على الصحة المرتبطة بالري بمياه الصرف الصحي، وقد تم إجراؤها خلال الفترة من ١٩٨٠ إلى ١٩٨٣ (Moore *et al.*, 1988; Ward *et al.*, 1989). فمياه الصرف الصحي البلدية (المحلية) الواردة من اثنتين من وحدات الترشيح بالتقطير من مدينة لوبوك بولاية تكساس، كان يتم تطبيق استخدامها في ري المحاصيل الزراعية. حيث تضخ مياه الصرف الصحي في أنابيب إلى مساحة ١١٥٣ هكتار من أجل الري، بشكل رئيسي من خلال ٢٢ جهازاً من نظم الري المحورية. وفي عام ١٩٨٢، كان يتم ضخ مياه الصرف الصحي بشكل مباشر إلى الأجهزة المحورية. وفي عام ١٩٨٣ تم استخدام برك ضحلة (وهي منخفضات طبيعية ضحلة مملوءة بالماء، وعادة ذات تصريف خارجي) كخزانات لتخزين مياه الصرف الصحي قبل الري. وفي ربيع عام ١٩٨٢، كان متوسط تركيزات الأشكال العصوية للبكتريا البرازية (FC) يبلغ ٤,٣×١٠^{٦} وحدة/١٠٠ ملل (والوحدة هي الوحدات المكونة للمستعمرات)، في حين أنه في ربيع عام ١٩٨٣، كان متوسط التركيزات يبلغ ٥,٣×١٠^{٣} وحدة/١٠٠ ملل. وجميع المستويات هنا تجاوزت الخطوط الإرشادية لوكالة حماية البيئة EPA البالغة ١٠٠٠ وحدة/١٠٠ ملل لهذا النوع من الري. أما تركيزات الفيروسات المعوية فقد بلغت ٤٠ وحدة/١٠٠ ملل في ربيع ١٩٨٢، ٢ وحدة/١٠٠ ملل في ربيع ١٩٨٣ (حيث الوحدة هي الوحدات المكونة للبقع). وقد خلصت دراسة وارد وآخرين Ward *et al*, (1989) إلى أن التعرض لرذاذ مياه الصرف الصحي في استطلاع مراقبة العدوى بمنطقة لوبوك (LISS) لم يتلازم مع الزيادة في معدلات الإصابة بالأمراض، ولكن كان هناك إشارة إلى أن الإصابات

الفيروسية الجديدة كانت أكثر تكراراً في الظهور في الأشخاص ذوي التعرض الأعلى للرذاذ من الأشخاص ذوي التعرض المتوسط أو المتدني للرذاذ. ولم يكن هناك أدلة على أن الري بالرش بمياه الصرف الصحي سبب عدوى متزايدة بفيروس الروتا (المسبب للالتهاب المعوي في الأطفال)، لكن ربما يكون ظهر انتشار لأشكال العدوى الفيروسية الأخرى (Ward *et al.*, 1989).

(٢٠,٥) المحاصيل المناسبة للري بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة

لابد من مراعاة نوعية المحصول عند الري بمياه الصرف أو بالمياه المعالجة. فإذا كان التخلص من الماء و/أو محتوى النيتروجين هو الاعتبار الأساسي، فإن انتقاء المحصول لمواضع الري في التربة يعتمد إما على تطبيق الماء أو استخدامه أو على التخلص من النيتروجين. فبالنسبة لاستخدام الماء، نجد أنه طوال موسم الزراعة من المفضل بلوغ الحد الأقصى لمعدل البخر-نتح المقدر للمحصول ET. فالمحصول قد أو قد لا يتم حصاده وإزالته. أما بالنسبة للتخلص من النيتروجين، فلابد لعملية انتقاء المحصول أن تعتمد على النيتروجين الكلي المطلوب إزالته من قبل المحصول من الحقل ومن هذا المحصول. أنظمة تطبيق الأرض لا تصمم مستندة على حمولة الفسفور كعامل مقيد. فامتصاص الفسفور بواسطة أغلب المحاصيل سيكون منخفضاً فيما له علاقة بدخل الفسفور من مياه الصرف الصحي، لاسيما إذا ما كان تم تصميم النظام للتخلص من النيتروجين من أنظمة عملية التغذية المركزة للحيوانات (CAFO). فإذا ما تم تطبيق الفسفور بمعدلات تفوق معدلات امتصاص المحصول وتخلصه منه، فإنه لابد من أن يتم تحديد قدرة التربة على امتصاص وامتزاز الفسفور واستخدامه لحساب عدد السنوات التي يمكن خلالها استخدام الموقع في تطبيق الري بمياه الصرف الصحي.

أما الخصائص المميزة للمحاصيل المنتقاة للزراعة في المواقع المروية بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة (USEP A, 1981; George *et al.*, 1985) فهي قدرة عالية على

امتصاص العناصر المغذية وإزالتها، وارتفاع البخر-نتح للمحصول ET، وظروف رطوبة تربة مقبولة إلى عالية، وإمكانية تحقيق المحصول المحلي للعائد، وملاءمته للمعدات، والعمالة، ونظام الإدارة لدى المنتج، وتكيفه مع المناخ والتربة، واستيفائه لمتطلبات جودة مياه الري، والقيود المعتمدة على استخدام محاصيل الاستهلاك الآدمي، وجودة ملاءمته للتشغيل الإجمالي لدي المنتج.

وعملياً، فإن أي محصول متكيف محلياً، بما يشمل المحاصيل البستانية، يتم إنتاجه بالري بالمياه المعالجة أو بمياه الصرف الصحي دون التأثير بشكل سلبي على جودة أو كمية المحصول. ودراسة كيركهارن (1986) Kirkham تقوم بتلخيص المشاكل المرتبطة باستخدام مياه الصرف الصحي في ري محاصيل الخضر. وخلصت الباحثة إلى أنه من الواضح أن هناك القليل من المشاكل المرتبطة بالمياه المتدفقة من المجاري ذات المعالجة الثانوية والمستخدمة في ري محاصيل الخضر. فإذا كان التخلص من العناصر المغذية هدفاً رئيسياً في نظام معالجة الأرض، ففي العادة يتم انتقاء محاصيل الأعلاف. وأغلب محاصيل الأعلاف التي تحظى بمعدل مرتفع من البخر-نتح ET طوال موسم الزراعة، والتي تحظى بمتطلبات عالية من العناصر المغذية، تحتمل رداءة الصرف، و/أو الغمر الدوري، كما أنها تحتمل الملوحة العالية، ويمكن بذرها أو غرسها بشكل متداخل مع خليط من أنواع نباتات الفصل الدافئ والفصل البارد لإطالة أمد موسم الزراعة. أما محاصيل الأعلاف المعمرة فلها مجموع جذري متجاور، في حين أن المحصول الصفيّ الحوليّ سيكون به مناطق من التربة ليس بها مجموع جذري لامتصاص النيتروجين لفترات كبيرة في الربيع. كما أن محاصيل الأعلاف تتسم بأن لها متطلبات زراعية متدنية (مثل مكافحة الآفات، والزراعة والحرث، ودقة توقيت الممارسات الزراعية القائمة على دراسة الظواهر البيولوجية لنمو النبات). وبالإضافة إلى ذلك، فإن محاصيل الأعلاف لها في العادة سوق محلية، أو يمكن استخدامها في عملية الزراعة الحيوانية التي تنتج مياه الصرف الصحي. ودراسة بارنز وآخرين (1995) Barnes *et al.*

تقدم معلومات حول قابلية التكيف مع المناخ، وإنتاجية المحاصيل، والاستجابة للتسميد، وغير ذلك من المعلومات الخاصة بمختلف محاصيل الأعلاف.

وقد يكون للمحاصيل الصفيّة إنتاجية عالية، ولكن يكون بها اثنان من العيوب. فالفترة من الربيع قبل أن يبدأ المحصول في النمو، والفترة بعد الحصاد، من المعروف أنهما فترات بهما أقصى حد من احتمالية ترشيح النيتروجين. وثانيا، إذا ما تمت إزالة جزء واحد فقط من المحصول عند الحصاد (مثل الحبوب)، فإن أغلب العناصر المغذية تظل في الحقل.

أما الأعشاب الخضراء التي يحدث بينها وبين البشر تلامس مباشر فقد يتم ريها بالمياه المعالجة بالري بالرش، ولكن ليس بمياه الصرف، لأن جودة مياه الصرف لا تستوفي معايير التلامس الأساسية. وبالتالي، فإن أنظمة الأعشاب الخضراء في المناطق الحضرية والسكنية يتم استخدامها أكثر من أجل إعادة الاستخدام النافع للمياه المعالجة أكثر من معالجة المياه أو التخلص منها.

ومن المقبول معالجة أراضي الأشجار والغابات بمياه الصرف الصحي. فمن بين المزايا بلوغ الحد الأدنى من صيانة الموقع، وارتفاع المحتوى العضوي للنفايات في المياه السطحية والتربة، واستقرار قطاع التربة. أما الغابات القديمة التي ليس لها طبقة تحتية فهي غير ملائمة على كل الأحوال، للتخلص من العناصر المغذية (Burton and King, 1981).

(٦, ٢٠) تصميم معدل تحميل النيتروجين

تقريباً لكافة نظم تطبيق المياه المعالجة ومياه الصرف الصحي، سيكون أي من معدل التحميل الهيدروليكي، أو معدل تحميل النيتروجين هو العامل المقيد. فإن كانت مياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة بها محتوى متدنٍّ نسبياً من النيتروجين، من ثم فإن تحديد إجمالي مساحة الأرض المفترض ريها، وتصميم النظام، وفقاً لفصول أخرى

من هذا الكتاب. ولكن على كل الأحوال، فإن إجراءات التصميم ستتغير بشكل طفيف، لأن نقطة الانطلاق ستكون هي حجم أو معدل تدفق الماء المتاح للري. أما إذا ما كان المحتوى الإجمالي من النيتروجين في مياه الصرف الصحي عالياً أي أكثر من حوالي ١٠ مجم/لتر، وهو الحال مع أغلب مياه الصرف الزراعية، عندئذ فإن معدل تحميل النيتروجين يكون هو العامل الحاسم في تصميم النظام. ولابد من مقارنة كل من معدل التحميل الهيدروليكي، ومعدل تحميل النيتروجين معا لتحديد أيهما هو عامل الحسم. ومعدل التحميل الهيدروليكي سيكون معتمداً على البخر-نتح ET، بما يتفق والفصول الأخرى. أما معدل تحميل النيتروجين فقد يتم حسابه باستخدام موازنة نيتروجين سنوية بسيطة.

(١,٦,٢٠) إجراءات التصميم

إن إجراءات التصميم هي البدء بمحتوى النيتروجين، وبحجم أو معدل تدفق مياه الصرف الصحي. وحساب إجمالي موازنة النيتروجين هو أمر مطلوب لتحديد مساحة الأرض المطلوب ريها لمعالجة الأرض. ولابد من توافر أرض كافية للري و/أو معالجة الأرض بدون حدوث الجريان السطحي أو التسرب الذي يحتوى على أكثر من ١٠ مجم/لتر من مركب نترات النيتروجين NO_3-N. وإجراءات التصميم هي:

١- تقدير متوسط الإجمالي السنوي لمحتوى النيتروجين (مجم/لتر) في مياه الصرف الصحي، بما يشمل مياه عملية الجريان السطحي المحتجزة، كدالة مع الخصائص المميزة لمياه الصرف الصحي الصناعية أو الآتية من عملية التغذية المركزة للحيوانات CAFO والمعالجة المسبقة لمياه الصرف الصحي.

٢- تقدير الحجم الإجمالي السنوي لمياه الصرف الصحي. وهذا الإجراء يفترض أن خزانات تخزين مياه الصرف تم تصميمها بشكل مناسب لاستيعاب متطلبات تخزين مياه عملية الجريان السطحي ومياه الأمطار في فصل الشتاء.

٣- إيجاد النيتروجين السنوي (ناتج قيم الخطوتين ١ و٢ بوحدة كجم) الذي سيتم تطبيقه في الري.

٤- تحديد أنظمة الرعي أو الزراعة المحصولية التي سيتم استخدامها، والتقدير الأوليّ لإجمالي مساحة الأرض المفترض ريّها. وتقدير المادة المجففة من المحصول (ميقاجرام/هكتار) والتي ستتم إزالتها في حالة "طبيعية" في العام بوصفها وظيفة من توافر الماء والعناصر المغذية. ويقدر إجمالي النيتروجين المزال في المحصول (كجم/هكتار)، كنسبة مئوية من المادة المجففة من المحصول. وتحويل قيمة النيتروجين السنوي في مياه الري إلى الوحدة (كجم/هكتار). وتحويل حجم مياه الصرف الصحي إلى عمق (مم) لكل وحدة مساحة من الأرض.

٥- من الفصول الأخرى (الخامس، والسابع، والثامن) من هذا الكتاب، يتم تحديد احتياجات مياه الري من الاستهلاك المائي للنبات، والأمطار، وكفاءة نظام الري وانتظاميته، ومن أي متطلبات غسيل. ويعبّر عن احتياجات مياه الري بالعمق (مم).

٦- مقارنة مياه الصرف الصحي المتوافرة للري (كعمق بوحدة مم لكل وحدة مساحة من الأرض) مع متطلبات الاحتياجات المائية من مياه الري (مم). فإذا ما كان الماء المتوفر أقل كثيراً من متطلبات الاحتياجات المائية، فإنه عندئذ لابد إما من تطوير مصدر مياه آخر من أجل الري، أو يتم تنقيح المحاصيل الزراعية (وإزالة النيتروجين) باتجاه تنازلي لأخذ توافر المياه المتناقصة في الحسبان. وإذا كان الماء المتوفر أكبر بكثير من متطلبات الاحتياجات المائية، عندئذ لا يكون النيتروجين هو العامل الحاسم، ولابد من تصميم النظام بناءً على معدل التحميل الهيدروليكي بدلاً من البناء على معدل تحميل العناصر المغذية. وقد يستدعي الأمر استخدام سماد نيتروجين إضافي.

٧- استخدام طريقة موازنة للنيتروجين، مثل الطريقة المطروحة في القسم التالي، لمقارنة مقدار ١كجم من النيتروجين/هكتار من مياه الصرف المطبقة، مع ١كجم من النيتروجين/هكتار المزال خلال معالجة الأرض. فإذا كان مقدار النيتروجين المزال في نظام معالجة الأرض هو أقل من مقدار النيتروجين المنتظر تطبيقه، عندئذ فإن أياً من مقدار النيتروجين المنتظر تطبيقه يجب أن يتم خفضه (في معالجة أولية إضافية)،

أو يجب أن يتم زيادة مقدار النيتروجين المزال (من خلال زيادة الفقد في عملية اختزال النيتروجين من المركبات أو إضافة المزيد من الأرضي).

٨- إنهاء تجهيز مساحة الأرض المفترض ريها، ثم الانتقال لمرحلة انتقاء وتصميم معدات النظام.

(٢٠,٦,٢) موازنة النيتروجين

إن طريقة حساب موازنة النيتروجين هي طريقة مطلوبة لتحديد إجمالي مساحة الأرض اللازمة للري بمياه الصرف الصحي بدون تجاوز المعدلات الزراعية العلمية للتخلص من النيتروجين. وموازنة النيتروجين الإجمالية يتم في العادة حسابها لوحدة المساحات من الأرض على أساس سنوي. وقد تم تسجيل الإجراءات اللازمة لحساب موازنات الماء والعناصر المغذية في منطقة الري (مثل Loehr *et al,* 1979). أما دراسة طومسون وآخرين Thompson *et al.* (1997) فتوفر لائحة ببرامج الحاسب الآلي التي تقوم بحساب معدلات تطبيق السماد. وبعض هذه البرامج ستكون قابلة للتعديل مع تطبيق السوائل. أما نسبة مدخل النيتروجين N_i (كجم/هكتار) في موازنة النيتروجين فهي:

$$N_i = 0.01\times[(I+I_C)+(P+P_C)]+F+O+S \qquad (٢٠,١)$$

حيث إن:

0.01 = ثابت التناسب، من العلاقة (10^4 L/(ha mm) x 10^{-6} kg/mg).

I = مقدار الري الفعال الذي يصل إلى النبات وسطح الأرض، مم.

P = مقدار المطر الفعال الذي يصل إلى النبات وسطح الأرض، مم.

I_c = التركيز الإجمالي للنيتروجين في الري، مجم/لتر.

P_c = التركيز الإجمالي للنيتروجين في المطر، مجم/لتر.

F = إجمالي محتوى النيتروجين في السماد المضاف، كجم/هكتار.

O = النيتروجين الآتي من مصادر أخرى مثل الحركة باتجاه الأعلى من المياه الجوفية إلى الحيز الجذري، والمساهمة من قرون النباتات، كجم/هكتار.

S = التحلل إلى معادن (التمعدن) للنيتروجين الثابت منذ سنوات سابقة، كجم/هكتار.

ونسبة فقدان أو إزالة النيتروجين N_o (كجم/هكتار) في موازنة النيتروجين هي:

$$N_o = (0.01 \times I \times I_c)(V_f \times I_f \times D_f) + 0.01 \times [(G \times G_c) + (R \times R_c)] + C_u \quad (٢٠,٢)$$

حيث إن:

V_f = الفاقد الجزئي لمدخلات الفواقد في النيتروجين نتيجة للتطاير.

I_f = الفاقد الجزئي لمدخلات الفواقد في النيتروجين نتيجة لثبات الحركة.

D_f = الفاقد الجزئي لمدخلات الفواقد في النيتروجين نتيجة إزالة النيتروجين.

G = الترشيح من الحيز الجذري إلى المياه الجوفية، مم.

G_c = تركيز النيتروجين في موضع الترشيح، مجم/لتر.

R = الجريان السطحي من موقع التطبيق، مم.

R_c = تركيز النيتروجين في الجريان السطحي للترشيح، مجم/لتر.

C_u = إزالة النيتروجين من المحصول، كجم/هكتار.

فإذا ما كانت قيمة N_0 تساوي أو أقل من قيمة N_i، عندئذ فإن قيمة N هي عامل الحسم بالنسبة لمعدل التحميل. وبمساواة كل من N_0 و N_i والحل الآني سينتج عنه I كما في المعادلة التالية:

$$I = [C_u - F - O - S + 0.01 \times [(G \times G_c) + (R \times R_c) - (P + P_C)] / [0.01 \times I_c \times (1 - V_f - I_f - D_f)] \quad (٢٠,٣)$$

والحد الأقصى المسموح به لنترات النيتروجين NO_3-N في التسرب إلى المياه الجوفية G_c، والجريان السطحي لهطول الأمطار R_c هو ١٠ مجم من نترات النيتروجين NO_3-N /لتر.

والتسرب إلى المياه الجوفية لن يبلغ قيمة الصفر مع معظم نظم تطبيق الأراضي، ولكن يفترض أن يكون صفراً في التصميم لنكون في الجانب المأمون. وفي بعض المناطق، فإن ذوبان الجليد في الربيع سينتج عنه تصريف للماء السطحي الصافي إلى المياه الجوفية. وفي بعض الأجواء المناخية، نجد أن المطر الغزير سوف يتسبب في تشبع طبقات التربة وينتج عنه تصريف للماء السطحي الصافي إلى المياه الجوفية. أما التقييم المحدد بحسب الموقع لكل من G وG_e فلابد أن يقوم على أساس قياسات أو على أساس نتائج نموذج محاكاة معتمد.

أما عملية الجريان السطحي للأمطار فقد يتم تقديرها من خلال نماذج مثل الأسلوب الرشيد، والمنحنى الرقمي "لمصلحة المحافظة على التربة الزراعية (SCS)" من بين طرق عدة. وقد ورد من منطقة جورجيا أن نسب الفقد في النيتروجين تتراوح ما بين ٣٪ و٧٪ من إجمالي النيتروجين المستخدم، وذلك بالنسبة لمياه صرف صناعات الألبان المستخدمة في الري بواسطة نظم الري المحوري (Hubbard *et al,* 1987). وبهذه المعدلات فإن ما بين ٢٥ و٣٠ كجم من النيتروجين للهكتار سوف يتم التخلص منها. ومن أجل الوصول إلى تصميم آمن، يتم إهمال إزالة النيتروجين في عملية الجريان السطحي للمياه. وهذا الرقم هو عادة أقل من ١٠٪ من إزالة النيتروجين عند حصاد المحاصيل.

فإذا كانت النترات هي العامل الحاسم في عملية ري الأراضي بمياه الصرف، فعندئذ لن تتم إضافة سماد نيتروجين. وعلى كل الأحوال، إذا كانت حمولة الفسفور ذات أهمية، فإنه يكون من المطلوب استخدام نيتروجين إضافي لموازنة الخصوبة وزيادة إنتاجية المحاصيل. ونسبة النيتروجين الآتية من قمم النباتات لابد من إدخالها في الحسابات.

ويمكن الحصول على الخصائص المناخية للمطر في الموقع من مصادر متعددة. فتقرير وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA (1981) يوصي بأن يتم ضبط تصميم المطر الشهري لفترة ٥سنوات عودة تردد. وبشكل بديل، إذا ما تم استخدام المطر السنوي، فلابد من استخدام ١٠سنوات كفترة عودة تردد، موزعة بالشهر اعتمادا

على نسب متوسط المطر الشهري إلى المطر السنوي. وقد يفترض أن يبلغ محتوى النيتروجين في المطر مقدار ٠,٥ مجم/لتر (Loehr *et al.*, 1979).

وأجزاء إجمالي النيتروجين المطبق، والتي هي متطايرة، وثابتة الحركة ومختزلة من المركبات، هي دوال مع عمليات المعالجة الأولية، ونظام الري، وبيئة النبات والتربة، وإدارة نظام معالجة التربة. وفي ظل غياب قيم محددة حسب الموقع، فإنه يتم استخدام بعض القيم التقريبية عند التصميم. وبالنسبة لمياه الصرف الصحي العالية القوة، والعالية في الرقم الهيدروجين pH، والآتية من عمليات الإطعام المركزة للحيوانات CAFO أو من مصانع الأغذية، نجد أن الفقد بالتطاير في نظام الري بالرش يبلغ ٢٠٪ (Broadbent and Reisenaur, 1985). وسوف يزيد الفقد بالتطاير، مع زيادة تركيزات الأمونيا في مياه الصرف الصحي. أما بالنسبة لمياه الصرف المعالجة ذات القوة المنخفضة، والرقم الهيدروجين المتعادل pH، والمحتوى المنخفض من النيتروجين، نجد أن الحمل الهيدروليكي سيكون بالطبع هو العامل الحاسم في التصميم. وبالنسبة للتربة جيدة التهوية ذات القوام الخشن، يتم إهمال عملية اختزال النيتروجين من المركبات. أما أنواع التربة المغمورة دورياً بالمياه وذات القوام الناعم، والري المتكرر، فتشجع على الظروف المواتية لعملية اختزال النيتروجين من المركبات. وبالنسبة لهذه الظروف فإن نسب الفقد خلال عملية اختزال النيتروجين من المركبات ترتفع لتبلغ نحو ٤٠٪ (Broadbent and Reisenaur, 1985). ونسب الفقد التي تقع في النطاق ما بين ١٥٪ إلى ٢٥٪ خلال عملية اختزال النيتروجين من المركبات لابد من استخدامها عند التصميم. أما حالات الفقد في النيتروجين خلال عملية شل الحركة الميكروبية فسوف تقع بشكل نمطي في المدى المتراوح ما بين ٢٢ و٤٥ كجم/هكتار، ولكنها ترتفع لتبلغ حتى ٥٥ كجم/هكتار (Broadbent and Reisenaur, 1985). وبالنسبة لتطبيق ري سنوي قدره ٣٣٣ مم مع محتوى نيتروجين إجمالي يبلغ ٣٠٠ مجم/لتر، نجد أن نسبة التثبيت الميكروبي تبلغ فقط حوالي ٥٪. وبناءً عليه، فإن الجزء الخاص بتثبيت الحركة، I_f، يتم إهماله. والخطوط الإرشادية الواردة في تقرير وكالة

حماية البيئة الأمريكية (1981) USEPA هي نسبة ١٥٪ إلى ٢٥٪ لعمليتي اختزال النيتروجين من المركبات، والتطاير مجتمعتين، ونسبة ٠٪ لصافي التخزين في التربة (أي عمليتي تثبيت الحركة والتحلل إلى معادن).

النيتروجين الذي يتم تطبيقه في صورة عضوية (الروث الطري أو الجاف أو المواد الصلبة العالقة) لابد من أخذه في الاعتبار عند تصميم معدل التحميل. ونحو ما بين ٢٥٪ و٣٥٪ من النيتروجين العضوي سيتم إطلاقه في موسم الحصاد الأول. وبالنسبة للاستخدام طويل الأمد للشوائب الصلبة، نجد أن إجمالي محتوى النيتروجين في الشوائب الصلبة لابد من إضافته إلى موازنة النيتروجين.

أما عملية التحلل إلى معادن الصافية للنيتروجين العضوي بالتربة فتتراوح نسبتها ما بين ٢٪ و٤٪ للعام الواحد من إجمالي نيتروجين التربة والذي يبلغ ما بين ١٠٠٠ و٥٠٠٠ كجم/هكتار (Keeney, 1983). وحد عملية التحلل إلى معادن للأرضي عالية الخصوبة، وعالية الإنتاجية يصل إلى ما يقارب ٢٠٠ كجم/هكتار. وبشكل مثالي، فإن حد عملية التحلل إلى معادن يمكن فهرسته بحد امتصاص المحصول. فإذا كان محصول أعلاف محصود يعطي إنتاجية تبلغ ١٠ ميقاجم/هكتار، له محتوى نيتروجين يبلغ ٢٪، فإن إجمالي ٢٠٠ كجم من النيتروجين سيتم التخلص منه في الكتلة العضوية التي يتم حصادها أعلي سطح التربة. وكقاعدة عامة، سيكون هناك إجمالي ٢٠٠ كجم مكافئة من النيتروجين المثبت الحركة في صورة عضوية في الكتلة العضوية القابعة أسفل التربة. وأغلب هذا سوف يتم لاحقا تحلله معدنياً إلى نيتروجين غير عضوي في الأعوام التالية، ويمكن دمجه داخل حسابات تحميل النيتروجين عند التحميل. وإذا كان يفترض لصافي التخزين أن يكون ٠٪ من النيتروجين المستخدم في حالة وضع ثابت، فإن التصميم سيكون محافظاً (أي ليس من غور صاف للمادة العضوية في التربة).

مع معدلات التطبيق الملائمة، فإن امتصاص المحصول السنوي للنيتروجين وتخلصه منه عند الحصاد ستتراوح نسبته ما بين ٥٠٪ وما يزيد على ٩٠٪ من النيتروجين المطبق في العام. والبقية بشكل نمطي ستكون في صورة النيتروجين غير

المرتبط بالحصاد، وذي الروابط العضوية، في جذور النباتات، وغيرها من بقايا النباتات، مع مدخلات من حالات الفقد الأخرى في النيتروجين. ولتصميم معدلات التحميل عند التطبيقات العالية، لابد من استخدام نسبة تتراوح ما بين ٥٥٪ و٧٥٪ لامتصاص المحصول للنيتروجين وتخلصه منه عند الحصاد. وستكون هذه القيمة دالة مع المحصول والتربة. أما بالنسبة لمحاصيل الأعلاف، فقد يتم تعميم امتصاص المحصول للنيتروجين كنسبة مئوية من المادة المحصودة الجافة، لاسيما عند معدلات إضافة النيتروجين العالية. ويكون نطاق التصميم هو ما بين ١٪ إلى ٣٪ من إجمالي النيتروجين في المادة المحصودة المجففة في الأعلاف.

وبالنسبة لأغلب مراعي الأعشاب الحولية النقية على أنواع التربة الحمضية في جنوب شرق الولايات المتحدة، فإن نسب N:P:K (النيتروجين: الفسفور: البوتاسيوم) المفضلة للخصوبة هي ٤ : ١ : ٢ (Chamblee and Spooner, 1985). وإذا ما فقد النيتروجين من معالجة مياه الصرف الصحي ونظم التطبيق، فإن الأمر يقتضي استخدام نيتروجين إضافي لزيادة امتصاص الفسفور في الأعلاف. وقد يتم ذلك من خلال تسميد إضافي أو من خلال استخدام قرون النباتات المغروسة بشكل متداخل أو المزدوجة البَذْر.

ويتم تبسيط معادلة موازنة النيتروجين، مع الافتراضات الواردة في الفقرات السابقة بما في ذلك عدم تطبيق أي نيتروجين مخصِّب، إلى المعادلة:

$$I = [C_u - S - 0.01 \times (P \times 0.5)] / 0.01 \times I_c \times 0.75 \qquad (٢٠,٤)$$

ولعملية حسابية لعينة، تفترض أن البيانات المدخلة من بحيرة عملية التغذية المركزة لحيوانات مزارع الألبان CAFO، على أساس سنوي هي أن: مياه الصرف الصحي لها إجمالي محتوى من النيتروجين يبلغ ٣٠٠ مجم/لتر. وأن المطر الفعال ١٢٧٠مم. وأن المحصول المزروع في جنوب شرق الولايات المتحدة الساحلي هو عشب برمودا، متداخل معه القمح الشتوي، ويحصد كعلف ويزال من الحقل. وأن إجمالي

إنتاجية المادة الجافة ١٥ ميقاجم/هكتار، بمحتوى نيتروجين يبلغ ١,٥٪، ومن ثم فإن النيتروجين المزال يبلغ ٢٢٥ كجم/هكتار. أما النيتروجين المتحلل معدنيا بشكل سنوي S، فيبلغ ٥٠كجم/هكتار. وحل I يبين أن كمية الري الفعالة لا ينبغي أن تتجاوز ٧٥ مم. فإذا ما تم تطبيق أكثر من ٧٥ مم من مياه الري، فإن المزيد من النيتروجين سيتم تطبيق استخدامه أكثر مما يمكن أن يتم التخلص منه بواسطة المحصول. ولابد من تحديد مساحة الأرض المطلوبة للري بمياه الصرف الصحي من خلال إجمالي حجم مياه الصرف الصحي التي ستتوافر على أساس سنوي.

(٢٠,٦,٣) موازنة الفسفور

نتيجة لتعقيد كيمياء الفسفور في التربة، لم يتم تطوير نماذج مشابهة للفسفور. فإذا كانت حمولة الفسفور هي العامل الحاسم، فمن ثم فإن الاشتراط العام هو أن إجمالي حمولة الفسفور لا يجب أن تتجاوز معدل امتصاص وإزالة الفسفور من التربة الزراعية. ومحتوى الفسفور في المحاصيل المحصودة والمزالة من الحقل، يتم استخدامه لتحديد إجمالي مساحة الأرض المطلوبة لتطبيق مياه الصرف الصحي.

(٢٠,٧) نظم الري المستخدم بها مياه الصرف

الري السطحي كان يتم استخدامه في البدء لمعالجة مياه الصرف الصحي من الأراضي، وللري بالمياه المعالجة، لأنه كان طريقة ذات تكلفة منخفضة، وتقنية منخفضة، واستثمار منخفض في رأس مال. أما أهم المشاكل التي تواجه الري السطحي فتتمثل في التسرب العميق للماء المحتوي على النترات عند رأس الحقل، وضرورة احتواء وإعادة تدوير الجريان السطحي للماء الخلفي من موقع أراضي الري (Reed and Crites, 1984). وعندما تكون الظروف المحلية مواتية للتدفق بالجاذبية، يتم تصميم النظام باعتباره نظام معالجة تدفق سطحي (USEP A, 1981; Tedaldi and Loehr, 1992). ومع ذلك، فإن نظم الري بالرش هي النظم السائدة عند تطبيق مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة، كما أن نظم الري الدقيق تزداد شعبية.

(٢٠,٧,١) نظم الري بالرش ونظم الريّ الدقيق مع المياه المعالجة

يمكن استخدام المياه المعالجة مع أي نوع من نظم الري بالرش أو الري الدقيق. فاستخدام المياه المعالجة لا يغير في تصميمها شيئاً، فيما عدا ما يخص خصائص السلامة الإضافية التى يجب إضافتها لحماية مصادر المياه الصالحة للشرب. وسيتم مناقشة هذا بشكل منفصل في هذا الفصل. أما بالنسبة لاستخدام هذه المياه في ري المناطق الحضرية، ومروج الأعشاب الخضراء، فإن النظم القياسية هي نظم الري الثابتة، وخطوط الأنابيب الرئيسة والفرعية المدفونة تحت الأرض. أما بالنسبة لري الأشجار، ومحاصيل الأعلاف، فإن جودة المياه المعالجة تتجاوز جودة المياه السطحية أو الجوفية المجاورة كنتيجة لعمليتي الترشيح والتطهير. ومرة أخرى نجد أن تصميم النظام هو نفسه في مصادر المياه الأخرى.

ونظم الري بالرش ونظم الري الدقيق لها نفس المزايا التالية عند استخدامها في الري بمياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة:

- تطبيقات المياه والعناصر المغذية متماثلة نسبياً.
- تطبيقات الري الصغيرة تعتبر عملية.
- في ظل وجود إدارة جيدة، سيكون هناك الحد الأدني من الجريان السطحي، وهو ما يحول دون ضرورة وجود نظام لجمع مياه الجريان السطحي وإعادة استخدامها.
- يتم تصميم النظام للتقليل إلى الحد الأدنى من تلامس العامل مع مياه الصرف الصحي، فهي تحتوي على مسببات الأمراض.
- يكون النظام آليًّا لتطبيق المياه للتقليل إلى الحد الأدنى من تعرض العامة (الجمهور) إلى رذاذ الماء أو ماء الري.
- يكون النظام آليًّا لتسهيل وتبسيط إدارة عملية الري بواسطة القائمين على التشغيل الذين لا تعد مهمتهم الرئيسية هي الري أو إنتاج المحصول. ومن الأمثلة على ذلك نظم الري المحوري التي تستخدم مياه الصرف الصحي الآتية من عملية التغذية

المركزة لحيوانات مزارع الألبان CAFO، واستخدام نظم الري بالتنقيط تحت السطحي لتطبيق مياه الصرف الصحي المحلي من التدفق تحت سطح الأرض الرطبة.

• تطبيقات الرشاشات لقتل المسببات المرضية في مياه الصرف الصحي أمر فعال في تشجيع القضاء عليها لاسيما من الفيروسات.

• الري بالرش سينتج عنه فقد في النيتروجين نتيجة لتطاير الأمونيا، مما سيخفض من حمولة النيتروجين واحتمالات تسرب النترات.

• سهولة حفظ السجلات مع استخدام نظم الري المحورية وغيرها من النظم الآلية.

• في حالة الري الدقيق، يتم تطبيق مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة أسفل سطح الأرض لتقليل تلامس البشر معها، واحتمالات الجريان السطحي لمكونات التطبيق.

أما مساوئ استخدام مياه الصرف الصحي، ولكن ليس المياه المعالجة مع نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق، فهي:

• الجسيمات العالقة في الماء تتراكم في خطوط الأنابيب الرئيسة، والفرعية، وفي الفوهات، وفي المنقطات، وغيرها من مكونات نظام الري الأخرى. وقد ينجم عن ذلك ظروف لا هوائية، وظروف تآكل، وظهور الروائح، والتجمعات المشتركة للمواد المعدنية التي تقلل من قدرة الأنابيب وتسد الفوهات.

• إن رذاذ مياه الصرف الصحي في عملية الري بالرشاشات أو البخاخات ينقل الفيروسات والبكتريا مع اتجاه الرياح إلى مسافة بعيدة تبلغ مئات الأمتار ما لم يتم السيطرة عليها بواسطة ضغط التشغيل ووضع وتصميم الفوهات.

• تطهير مياه الصرف ليس خياراً متاحاً لمكافحة الطحالب وبكتريا الحديد.

• من المطلوب فترات تجفيف بين فترات الري والحصاد حين تتلامس مياه الصرف الصحي مع أسطح النباتات.

• ليست كل المحاصيل، لا سيما تلك المستخدمة كغذاء للبشر بدون طهي، يمكن ريها بواسطة مياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة. والقيود في هذا تعتمد على طبيعة المحصول وجودة مياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة المستخدمة.

• لابد من أن يتم الفصل بين خطوط أنابيب مياه الصرف الصحي، وخطوط أنابيب المياه الصالحة للشرب لتفادي تلوث المياه الصالحة للشرب. وهذا الأمر ينطبق كذلك على المياه المعالجة.

(٢٠,٧,٢) نظم الري المحورية

إن نظم الري المحورية تكتسب شهرة متزايدة في الري بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة، بشكل رئيسي بسبب انسجامها مع نظام الإدارة، لاسيما للقائمين على الري الذين ليست مهمتهم الأساسية إنتاج المحاصيل أو الري. فبالنسبة للقائم على تشغيل وحدة المعالجة أو مدير منتجات الألبان، فإن النظام المحوري هو أيسر في إدارته وتشغيله وصيانته من نظم الري بالرش الأخرى. فبالمقارنة مع نظم الري المدفوعة بالعجلات الجانبية (خط فرعي على عجل)، أو مع نظم الري المدفعية برشاشات كبيرة الفوهة (الرشاشات المدفعية)، نجد أن النظام المحوري يكون أقل اعتماداً على العمالة المدربة في جدولة الري، وحركة النظام. ويتيسر حفظ السجلات. كما أن انتظامية إضافة الماء والعناصر المغذية هي أيضا أكبر في النظام المحوري من نظم الري المدفعية.

وتجارب شركة معدات الري في منطقة إنتاج الألبان الرئيسية بولاية تكساس الأمريكية جديرة بالذكر. فاعتباراً من عام ١٩٩٥، قامت الشركة بتركيب ٣٣ نظام ري محوري لأغراض الري بمياه الصرف الصحي الآتية من معامل الألبان، وإحدى وحدات تصنيع الأجبان في منطقة (M. Stewart, 1995 اتصال شخصي. شركة دوليون للري، بمنطقة دوليون بولاية تكساس). كما قامت الشركة أيضاً بتركيب عدد نظم الري المحوري للمحاصيل الصفية ومحاصيل الأعلاف، ومن ثم، فقد كان لدى الشركة قاعدة طيبة لتقارن بين تشغيل النظام مع نوعيات مختلفة من المياه. ولقد كان انسداد الفوهات وغيرها من مكونات النظام، والتآكل المشكلتين الرئيسيتين الأكثر احتمالاً عند استخدام نظم الري المحوري في الري بمياه الصرف الصحي.

وهناك العديد من سمات التصميم والتشغيل التي تقلل بشكل بارز من احتمالات انسداد الفوهات. فعند مقارنتها بأحد نظم الري المحورية مع المحاصيل

الصفية، فإن فتحات الفوهات يكون بينها مسافات تباعد أكبر، وتكون أقطارها أكبر. وكمثال على ذلك، نجد تركيب الفوهات على مسافات تباعد تبلغ ٤,٥ م (١٧ قدماً)، ويبلغ قطر الفوهة أقل من ٧,١ مم (٩/٣٢ بوصة). وضغط التشغيل التصميمي يتراوح بين ١٣٥ و١٧٠ كيلوبسكالاً (٢٠ إلى ٢٥ رطل/بوصة٢)، وهو ما يعتبر أعلى من المعتاد في النظام المحوري المنخفض الضغط. وهذه التوليفة بين أقطار الفوهات الكبيرة، والضغط الأعلى ينتج عنها نظام يطرد أغلب الشوائب الصلبة من الماء. وقد ثبت أنه لا غناء عن وجود رشاش مدفعي طرفي على الخط المحوري في النظم الخالية نسبياً من الانسداد. فمع وجود الرشاش المدفعي الطرفي، نجد أن سرعة التدفق على امتداد طول الخط الفرعي تمنع الشوائب الصلبة من الاستقرار أو التراكم أو التجمع. ومضخة التعزيز الخاصة بالرشاش المدفعي الطرفي أحياناً تلتقط بعض النفايات، ولكن معدلات التوقف عن العمل لم تكن متجاوزة. أما صمامات التصرف الذاتية، وهي واحدة لكل نطاق، فتعمل على توفير التصريف في نهاية دورة الري. وهذا التصريف والتجفيف يقللان من تراكم الشوائب الصلبة، وما ينشأ من تآكل الأنابيب وظهور الروائح، والنمو المتواصل للكائنات الحية الدقيقة.

ولابد لمياه الصرف الصحي الواردة من أنظمة معامل الألبان أن تكون هي المرحلة الثانية في نظام البحيرة (الصرف). ولا يجب أن يتم استعمال البحيرة الأولية كمصدر للمياه لنظم الري المحورية بسبب ارتفاع مستويات الشوائب الصلبة العالقة، وازدياد احتمالات وجود الرائحة، وارتفاع مستويات العناصر المغذية. والمضخة ومدخل السحب، يتم تعليقهما على منصة عائمة على مسافة من الشاطئ، مع وضع المدخل على عمق حوالي ٠,٣ م. وهذا يتفادى الشوائب الصلبة العائمة والتي في القاع. وكنتيجة لارتفاع المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD) في مياه الصرف الصحي، وعادة ما يكون الماء لا هوائياً، لذلك فإن الطحالب لا تمثل مشكلة. وأنبوب الدخول يكون لها مصفاة حاجزة للنفايات، بفتحات يبلغ قطرها على الأقل ١٢,٥ مم. ولا يستدعي الأمر استخدام قفص سلكي منفصل من مصفاة دقيقة الفتحات للمدخل، ولا

حتى مرشح للنظام. وفي نهاية دورة الري، يتم إجراء الغسيل الخلفي بالدفق لأنبوب المدخل مع تصريف الماء من خط الأنابيب إلى البحيرة. ومن الضروري استخدام صمام تنفيس هواء عند أعلى نقطة في خط أنابيب الري، وهي في العادة رصّافة البحيرة. وقدرة نظام الري المحوري عند التصميم عادة ما تعتمد على الاحتياجات اللازمة لري المحصول للمساحة المشمولة، بدلاً من اعتمادها على متوسط معدل تدفق مياه الصرف الصحي. وهذا التصميم المفرط لقدرة النظام ينتج عنه معدلات تدفق أعلى ومرونة أكبر في تشغيل النظام، خصوصاً مع خفض ضغط الهواء في البحيرة بالضخ في أعقاب الجريان السطحي من المواضع المفتوحة نتيجة للأمطار الغزيرة.

(٢٠,٧,٣) نظم الري بالرشاشات المدفعية الكبيرة

نظم الري بالرشاشات المدفعية الكبيرة يشيع استخدامها في الري بمياه الصرف الصحي، وخصوصاً عندما يتم تطبيق مياه الصرف الصحي لحقول غير متماثلة في الشكل، أو عندما يتم التطبيق للمحاصيل الشجرية، أو مناطق الغابات في معالجة الأرض (Yoder, 1994). ونظم الري المدفعية الكبيرة لها ميزة كبر أقطار الفوهات، مما يساعد على ضخ العجائن ومياه الصرف الصحي ذات الشوائب الصلبة العالقة. والضغط العالي لنظم الرش المدفعية الكبيرة، يساعد أيضاً على الضخ في ظل وجود الشوائب الصلبة دون حدوث انسداد للنظام. ويتم التخلص من اشتراطات الترشيح، ولابد من تغطية مدخل أنبوب السحب بمصفاة لإبعاد الأجسام الكبيرة الحجم عن المضخة وخطوط الأنابيب. ومع نظم الرش المدفعية الكبيرة، يتم أيضاً تيسير الخفض الطارئ لضغط الهواء في البحيرات ذات المستوى العالي من الشوائب الصلبة العالقة.

(٢٠,٧,٤) نظم الري الدقيق

يتزايد استخدام الري الدقيق لمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة على الرغم من مشاكل الانسداد نتيجة المكونات الفيزيائية، والبيولوجية، والكيميائية في مياه الصرف الصحي. ويعتبر الانسداد المحتمل للمنقطات نتيجة لتدني نوعية المياه مصدر القلق الرئيسي في الري الدقيق باستخدام المياه المعالجة (Hills and Tajrishy, 1995).

والنوعية العالية للمياه المعالجة التي حظيت بمعالجة ثلاثية وتطهير، تتوافق للغاية مع نظم الري الدقيق. وعلى أي الأحوال، فإن كل مياه الصرف الزراعي من الناحية العملية، وأغلب مياه الصرف الصحي البلدية والتي حظيت فقط بمعالجة ثانوية تتسم بأن بها محتوى مرتفعاً للغاية من المادة العضوية (أي محتوى مرتفع من الأوكسجين البيوكيميائي المطلوب BOD، ومن إجمالي الشوائب الصلبة العالقة TSS) بشكل لا يجعل لا الكلورة ولا أي تطهير آخر نافعاً عملياً. فعملية كلورة المادة العضوية عالية القوة في الماء من المعروف أنها تنتج مواد مسرطنة، ومن ثم لا تكون الجرعات العالية جداً من الكلور هي الحل العملي. وبناءً عليه، فإن الريّ الدقيق باستخدام المنقطات يقتصر بوجه عام على المياه المعالجة، أو مياه الصرف الصحي منخفضة القوة ذات المعالجة الثانوية من مستودعات تخزين. ويمكن استخدام الرشاشات الدقيقة، أو المرشات الدقيقة، والنوابع، وغيرها من أشكال الري الدقيق ذات الفوهات الواسعة، وذلك إذا كانت المياه مرشحة بشكل مناسب. وخلصت دراسة هيلس وبرينيس Hills and Brenes (2001) إلى أن نظام التنقيط يكون ملائماً للاستخدام مع مياه المجاري من التصفية الثانوية بعد الكلورة والترشيح بمرشح رمل سيليكا ذي رقم ٢٠، ومرشح منخلي ذي مقاس ١٠٥ ميكرومتر عند كل أنبوب توزيع. والكلورة الدورية، بشكل مثالي مع مصدر مياه نظيفة وغسيل بالدفق، ستظل إجراء مطلوباً لمكافحة نمو الطبقات الفيلمية والأوحال البيولوجية.

(٢٠,٧,٤,١) نظم الري بالتنقيط تحت السطحية

إن الري بالتنقيط تحت السطحي سيمثل خطراً أقل بالتلوث بمسببات الأمراض (Phene and Ruskin, 1995; Trooien *et al.,* 2000)، ولكن يكون أكثر صعوبة في إدارته. ودراسة قيسهيكن Gushiken (1995) تعدد المزايا التالية لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي باستخدام المياه المعالجة: (١) تقليل المخاطر الصحية إلى الحد الأدنى، (٢) تقليل قابلية التعرض لمياه الصرف الصحي نتيجة للرش والرذاذ المتطاير وانجراف الرذاذ قرب المناطق السكنية، (٣) القضاء على الرائحة، وتكون البرك، والجريان

السطحي، بالإضافة إلى المزايا الأخرى لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي مقارنة بأشكال الري الأخرى.

وعندما تم استخدام الري بالتنقيط تحت السطحي في ريات متكررة في دراسة بولاية كاليفورنيا، حدث الحد الأدنى من ترسيب النترات (Phene and Ruskin, 1995). وكانت الشروط الأربعة الموصى بها هي: (١) أن تكون فترات الري قصيرة ومتكررة ومصممة لتحل محل امتصاص النبات للماء بشكل متقارب قدر الإمكان (بدون تسريب)، (٢) يتم تطبيق النيتروجين خلال النظام بمعدل يساوي على الأقل معدل امتصاص النبات للمقدار المتحلل معدنياً من التربة، (٣) أن يكون المحصول عميق الجذور، (٤) أن يكون مستوى الماء الأرضي على الأقل على بعد ٢ م من سطح التربة (Phene and Ruskin, 1995).

وقامت دراسة أورون وآخرين (1992) Oron *et al.* على الري بالتنقيط (السطحي وتحت السطحي) لمحاصيل القطن، والبرسيم، والذرة الصفراء، والقمح، باستخدام مياه الصرف الصحي ذات المعالجة الثانوية في إسرائيل. وقد لاحظ الباحثون عدم وجود أي حالات إخفاق تقنية في حالة القيام بترشيح ملائم، حيث لم يثبت العثور على أي تلوث بالميكروبات في المنتجات الزراعية. ويزداد استخدام الري بالتنقيط تحت السطحي في ري المسطحات المنزلية بمياه المجاري من نظم الصرف الصحي المنزلية عندما يتم دمج الأراضي الرطبة التي تكونها النظم تحت السطحية في التصميم. فتلك الأراضي الرطبة تقوم بإزالة الشوائب الصلبة العالقة التي بخلاف ذلك يستبعد نظم الري الدقيق بمياه الصرف الصحي.

(٢٠,٧,٤,٢) انسداد المنقطات

هناك منهجان يتم استخدامهما لتقليل الانسداد هما: تحسين تصميم المنقطات، والمعالجة الأولية للمياه المستخدمة في الري الدقيق (Hills and Tajrishy, 1995). فأما التصميمات المطورة للمنقطات فتشمل المنقطات ذات المسار المتعرج المضطرب، أو الأنواع ذاتية الغسيل. أما معالجة المياه المعالجة فهي بشكل أساسي الترشيح، متبوعاً

بالتطهير بواسطة الكلور أو أي عامل مؤكسد آخر، أو بالتعريض لأشعة الضوء فوق البنفسجية. وتذكر دراسة هيلز وتاجريشي Hills and Tajrishy (1995) أن الترشيح المتبوع بالتطهير بالتعريض لأشعة الضوء فوق البنفسجية UV، والكلورة، يكون أمراً ضرورياً لإنتاج مياه ذات محتوى بكتيري مقبول للري الدقيق لمحاصيل الخضروات والفواكه التي تباع طازجة. والترشيح وحده لا يكفي للقضاء على احتمالات الانسداد (Adin and Sacks, 1991; Hills and Tajrishy, 1995). وبالإضافة إلى ذلك، فإن ترشيح مياه الصرف الصحي الآتية من خزانات التخزين ينتج عنه الحاجة إلى عمليات إجراء الغسيل الخلفي بالدفق بشكل متكرر جداً (Rav-ina *et al.*, 1995)، وهو ما يوقف عملية الري ويخلق مشكلة لتخلص من هذه المياه.

وقامت دراسة هيلز وتاجرشي Hills and Tajrishy (1995) بفحص مياه المجاري الآتية من تصفية ثانوية في ولاية كاليفورنيا فيما يتعلق باحتمالات الانسداد في نظم الري الدقيق. وقد استخدمت توليفات من الترشيح (رمال السيليكا رقم ٢٠ أو شبكة منخلية بها ١٥٠ فتحة بقطر فتحات يبلغ ١٠٠ ميكرومتر)، والتطهير، مع المنقطات ذات المسار المتعرّج المضطرب والمنقطات الخطية الداخلية ذاتية الغسيل. وقد خلص الباحثون إلى استنتاجات مجملها أن: (١) من الضروري استخدام الكلور (أو مطهر مماثل) للحيلولة دون نمو الأوحال الطينية والطحالب داخل نظم الري الدقيق التي تستخدم المياه المعالجة. (٢) الترشيح وحده سواء باستخدام مرشحات وسطية أو مرشحات منخلية لا يمنع الانسداد. (٣) الترشيح الملائم باستخدام المرشحات الوسطية متوسطة الحبيبات سوف يقلل من الطلب علي الكلورة وتكرارية غسيل خطوط الأنابيب بالدفق. (٤) الكلورة المتقطعة ذات الكلور الحر المتخلف بتركيز ٢ مجم/لتر خلال الساعة الأخيرة في عملية الري هي أمر على نفس قدر فعالية الكلورة المتواصلة بتركيز ٠,٤ مجم/لتر لمنع تكون الطبقات الفيلمية البيولوجية وانسداد المنقطات. (٥) التطهير بالتعريض لأشعة الضوء فوق البنفسجية UV وحده لا يحول دون انسداد المنقطات. فالمنقطات ذاتية الغسيل تشترط وجود ترشيح بمرشحات وسطية الحبيبات،

وكلورة لتبقى على انتظامية عالية، ولكن مع المنقطات ذات المسار المتعرّج المضطرب يكفي استخدام أي من الفلترة بالمرشحات المنخلية أو المرشحات الوسطية مع الكلورة.

وفي دراسة ادين وساكس Adin and Sacks (1991) في إسرائيل لاستخدام الري الدقيق مع مياه الصرف المرشحة من أحد الخزانات، توصل الباحثان إلى الاستنتاجات التالية: (١) انسداد المنقطات الخطية يسببه بشكل أساسي الشوائب الصلبة العالقة، ولكنها لا تبدأ بالضرورة عملية الانسداد ذاتها. (٢) تجمع الرواسب يبدأ بترسب طبقات فيلمية بيولوجية لا بلورية تلتصق بها الجسيمات الأخرى. (٣) الطحالب لا تسبب انسداد المنقطات إلا حين تلتصق بجسيمات أخرى. (٤) الترشيح يمنع الانسداد المباشر بواسطة الجسيمات الكبيرة الحجم أو غير المنتظمة الشكل. (٥) احتمالات الانسداد يتم خفضها من خلال المعالجة الكيميائية الأولية بالعناصر المؤكسدة وعناصر إندماج الرواسب، أو بواسطة تعديل التصميم الداخلي للمنقطات.

أما المنقطات ذات المسارات الطويلة المتداخلة فقد كانت أكثر عرضة بكثير للانسداد من المنقطات ذاتية الضبط، وفي دراسة لأدين واليمشيل Adin and Elimelech (1989) ذكر الباحثان أن المرشحات المنخلية (من البوليستر بقطر فتحات من ٨٠ إلى ١٣٠ ميكرومتر) كان أداؤها رديئاً للغاية، حيث لم يتم إزالة سوى نسبة قليلة فقط من الجسيمات، من مياه الصرف من أحد خزانات التخزين. أما المرشحات الوسطية الحبيبات عميقة القاع (مع حجم فعال للحبيبات يبلغ ٠,٧، ٠,٩، ١,٢ مم) فقد أزالت ما بين ٣٠٪ إلى ٧٠٪ من الجسيمات العالقة.

أما دراسة جانكو وآخرين Juanico *et al.* (1995) عن تأثير إضافة مياه المجاري من مياه صرف البلدية إلى أحد خزانات المياه العذبة الضحلة في إسرائيل، فقد لاحظ الباحثون أن إضافة مياه المجاري بسرعة كبيرة (خلال أسبوعين أو أقل) وعلى نحو كبير جداً (بعامل ما بين ٢ إلى ٤) هو أمر زاد من قدرة الانسداد للماء على المرشح المنخلي ذي شبكة قطر فتحاتها ٨٠ ميكرومتراً، ويرجع في المقام الأول إلى زيادة في أنواع العوالق الكبيرة (*cyanophytes*، والعجليات *rotifers*، والقشريات *crustaceans*). أما

دراسة ساقي وآخرين Sagi *et al.* (1995) فقد رصدت الأوليات الاستعمارية (*Epystilys balanarum*) وبكتريا الكبريت (*Beggiotoa alba*) باعتبارهما المصادر الرئيسية لانسداد المنقطات في إسرائيل. فبالإضافة إلى تراكمها على كافة مكونات النظام، فإن هذه الكائنات تنتج طبقة فيلمية أو وحلية تساعد على تراكم جسيمات أخرى. فأما بكتريا الكبريت فقد كانت متواجدة فقط في الماء المحتوي على الهيدروجين وكبريتيد الهيدروجين (H_2S). ويتم التحكم فيهما بالكلورة، وليس بالترشيح.

(٢٠,٧,٥) مكونات النظام

المضخات المنتقاة لنظم الري بمياه الصرف الصحي هي بوجه عام من مضخات الطرد المركزي، والمدفوعة بقدرة محركات كهربية (Sneed, 1991; MWPS, 1993). وإجراءات تحديد الضاغط الديناميكي الكلي هي نفسها المتبعة مع ضخّ المياه المستخدمة لأول مرة. فأما قدرة تدفق المضخة فعادة ما يتم تحديدها بواسطة الحجم أو معدل تدفق مياه الصرف الصحي. وسيظهر استثناء حين يتم تحديد نزح الماء من إحدى البحيرات بواسطة لوائح تنظيمية محددة. فعلى سبيل المثال، تشترط اللوائح التنظيمية بولاية تكساس أن يتم ضخّ بحيرة مخلفات عملية التغذية المركزة للحيوانات CAFO إلى العلامة الدائمة (أعلى من حجم التشغيل التصميمي) في غضون ٢١ يوماً، كلما وصل منسوب البحيرة أو تجاوز منسوباً يكافئ نصف حجم الجريان السطحي عند التصميم (TWC, 1990; TNRCC, 1994). والخطوط الإرشادية لهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS لقدرة المضخة عند التصميم تعتمد على ثلاثة قيود فاصلة: عدم الضخ أثناء الليل، وعدم الضخ أثناء هطول الأمطار، وعدم الضخ إلى أرض مشبعة إلا عند الضرورة لحماية البحيرة من أن يتم تجاوزها. وهذا يبّسط، الافتراضات، بأن أحد الإرشادات غير الرسمية لهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS، ينص على أن قدرة المضخة ينبغي أن تكون كافية لضخ الجريان السطحي للعواصف من حدث يمتد ٢٤ ساعة، على مدى ٢٥ عاماً، في منطقة عملية التغذية المركزة للحيوانات CAFO في غضون عشرة أيام، مع تشغيل المضخة بمعدل عشر ساعات يوميا (K. Schrunk, 1994،

اتصال شخصي مع المكتب الإقليمي لهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS، بمنطقة Stephenville بولاية تكساس). والمضخات التي يتم تحديد حجمها وفقاً لهذا الإرشاد ستحدد القدرة المفضلة لنظام الري. وسوف يتم عمل هذا التصميم المفرط للمضخة بالنسبة للمعدلات الطبيعية توليد ماء الصرف الصحي. ومن الناحية العملية، حين تكون حمولة النيتروجين هي عامل الحسم عند التصميم، فإن نظام الري يكون عاملا فقط لبضعة أيام لكل شهر في ظل الظروف الطبيعية أو أقل من الطبيعية للمطر.

ولابد من مراعاة محتوى المواد الصلبة في مياه الصرف الصحي عند انتقاء المكونات. وبوجه عام، فإن نظم الري بالرش يمكن أن يتم استخدامها مع مياه الصرف الصحي ذات محتوى المواد الصلبة البالغ حتى ٤٪ بدون التأثير على تصميم النظام (MWPS, 1993). وبالنسبة للمحتوى العالي من المواد الصلبة، من المطلوب استخدام معدات متخصصة. والمضخات الطاردة المركزية ذات الدفاعات المروحية المفتوحة يمكنها أن تتعامل مع السوائل ذات محتوى المواد الصلبة البالغ حتى ١٥٪، لاسيما حين يكون للمضخة أنصال قاطعة عند المدخل (MWPS, 1993). وأما المضخات ذات الأنصال القاطعة (مضخات النفايات) فهي ملائمة لنظام الري بالرش المدفعي، ولكن لابد من اتخاذ الحيطة للتأكد من أن النظام به ضغط كاف. فإن كان لمياه الصرف الصحي محتوى من المواد الصلبة أكثر من ١٪ فلابد عندئذ من استشارة مهندس تصميم خبير (Sneed, 1991).

وسيحتاج الأمر إلى مرشحات عند استخدام الري الدقيق مع مياه الصرف الصحي. ولابد من استشارة مهندس تصميم خبير عند انتقاء أنظمة الترشيح.

(٢٠,٧,٦) تشغيل نظم خطوط الأنابيب

لابد من وجود العديد من الإرشادات العامة لتقليل المشاكل الخاصة بتشغيل النظام. فمكونات النظام المصنوعة من البلاستيك الحراري (مثل بولي كلوريد الفينيل PVC) ستعمل على التقليل من مشاكل التآكل، ولكنها تزيد من المشاكل المرتبطة بنمو الطحالب في خطوط الأنابيب. والأنابيب البلاستيكية PVC المفترض تشغيلها فوق سطح

الأرض ستحتاج لحمايتها من أشعة الضوء فوق البنفسجية. ولابد من أن يتم نزح خطوط أنابيب الري أو غسلها بالدفق بمياه عالية الجودة بعد الري لتفادي التآكل في خطوط الأنابيب المعدنية، وظهور الروائح في خطوط الأنابيب. والمشاكل الرئيسية التي تحدث مع المواد الصلبة التي تستقر وتعمل على تطوير الظروف اللاهوائية. أما محتوى مياه الصرف الصحي من العناصر المغذية فيساعد على نمو الطحالب، والبكتريا، والأوليات والتي تعمل على تثبيت المواد الصلبة وتحد من سعة الأنابيب. كما أن غاز كبريتيد الهيدروجين كأحد نواتج الهضم اللاهوائي في الأنابيب سيتجمع عند النقاط العالية في خط الأنابيب. وخط الأنابيب المعدنية بدون صمامات لتفريغ الهواء عند النقاط العالية هو عرضة بشكل خاص للتآكل (SCS, 1983; Wescot and Ayers, 1985).

(٢٠,٨) تصميم وتشغيل نظم لحماية صحة الإنسان

إن تصميم وتشغيل نظم الري بالمياه المعالجة ومياه الصرف الصحي في المناطق التي يمكن للعامة الوصول إليها يتطلب اهتماماً خاصاً لوقاية صحة الإنسان والحيوان. والإرشادات العامة في هذا الصدد واردة في دليل اتحاد الجولف الأمريكي (USGA, 1994). وعلى الرغم من أن تلك المبادئ الإرشادية كانت مكتوبة لاستخدام المياه المعالجة في المناطق التي يمكن للعامة الوصول إليها، إلا أن أغلبها قابل للتطبيق في حالة الري بمياه الصرف الصحي. ولابد من أن تتم مراجعة اللوائح التنظيمية لكل ولاية أو دولة والامتثال لها.

أما الاحتياطات الواجب اتباعها لتفادي أو تقليل المخاطر الصحية الناجمة عن الري بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة فهي:

• لا يجب السماح لا للبشر ولا للحيوانات بالدخول إلى الحقول المروية بالرش بمياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة. ولابد من السماح للأعشاب، والأعلاف وغيرها من النباتات الخضراء بأن تجف بشكل كامل بعد عملية الري قبل السماح

بدخول البشر إلى المنطقة. ولابد من تطبيق الري في دورات، كل رية تتبعها عدة أيام بدون ري.

• لا يجب تشغيل نظم الري بالرش أثناء الليل أو أثناء فترات المطر وذلك لتقليل احتمالات الجريان السطحي المباشر. فعملية الجريان السطحي لمياه الصرف الصحي لا يجب السماح لها لدخول مصادر المياه السطحية.

• الري بالنظم التي تقلل من تعرض البشر، أو الحيوانات، أو المحاصيل الغذائية لمياه الصرف الصحي لابد من أخذها في الاعتبار عند التفكير في ري المناطق ذات الاحتمالات الكبيرة بأن يطرقها البشر أو الأمراض. والعمال الذين في حالة اتصال مباشر مع مياه الصرف الصحي لابد لهم من تغيير ملابسهم والاغتسال بشكل كامل بعد التلامس مع مياه الصرف الصحي.

• وللحد من الرذاذ الجوي، لابد لنظم الري من أن تحظى بضغط تشغيل منخفض وارتفاع منخفض للتطبيق. ولابد من إنشاء منطقة عازلة بين موقع الري بالرش وموقع المناطق التي يمكن للعامة الوصول إليها. ولابد من تطبيق الري بالرش، أو الري بالمرشات خلال الفترات ذات التشتت الرأسي الجيد، بدلاً من الفترات ذات التشتت الجانبي ، والتي يمكن لها أن تحمل الرذاذ باتجاه الرياح.

• كل المياه الزراعية والبلدية الآتية من مصدر الجريان السطحي لابد من اعتبار أن بها محتويات بكتريا بحساب المؤشر أعلى من مستوى التلامس الأولي، ما لم تشر تحليلات نوعية المياه إلى خلاف ذلك.

وللوقاية من الاتصال العارض مع خطوط مياه الشرب:

• استخدام الحد الأدنى من أجهزة التدفقات المرتدة الرئيسية منخفضة الضغط عند وصلة الخدمة لنظام المياه الصالحة للشرب.

• تضمين اثنين من صمامات الكبح أي مخصص لتجميع إمدادات المياه الصالحة للشرب للحماية من الحريق.

• تضمين تجميعة فصل بفجوة هوائية في خطوط أنابيب المياه الصالحة للشرب المتصلة بخطوط أنابيب ملء البحيرات أو البرك.

• إزالة كافة الوصلات المادية فيما بين شبكة المياه المعالجة، وشبكة المياه الصالحة للشرب.

• لا تستخدم الخنادق المشتركة لخطوط أنابيب كلا من المياه الصالحة للشرب والمياه المعالجة، ولا يسمح بتركيب أنابيب غير معروفة.

• نظام المياه المعالجة لابد أن يكون له ضغط أدنى من ضغط نظام المياه الصالحة للشرب.

• الإبقاء على الفصل بين خطوط أنابيب المياه المعالجة وخطوط أنابيب المياه الصالحة للشرب. وقد تختلف هذه الشروط من ولاية إلى أخرى. والحد الأدنى للتباعد للخطوط المتوازية ينبغي أن يبلغ ٣ م، مع ١,٢ م للظروف الخاصة. ولابد لخط أنابيب المياه المعالجة أن يكون أعمق من خط أنابيب المياه الصالحة للشرب بنحو ٠,٣ م. وعندما تتقاطع خطوط الأنابيب، لابد لخط أنابيب المياه المعالجة أن يكون على مسافة ٠,٣ م على الأقل أسفل خط أنابيب المياه الصالحة للشرب.

• لا ينبغي أن تكون خطوط أنابيب المياه الصالحة للشرب وخطوط أنابيب مياه الصرف الصحي مرتبطة، أو أن يكون لديها الإمكانية للاتصال بها.

• لابد من حماية خطوط أنابيب المياه المعالجة من الاستخدامات غير المتوقعة من قبل العامة. ويوصى باستخدام صمامات مقرنات سريعة خاصة، أو أدوات خاصة للوصل إلى خطوط أنابيب المياه المعالجة. ولا يجب أن يكون لخطوط أنابيب المياه المعالجة دعامات خرطومية.

• ولابد من حماية مصدر المياه النظيفة المستخدم في الغسيل بالدفق لخطوط أنابيب مياه الصرف الصحي، ضد التدفقات المرتدة أو التلوث.

لابد من حماية كل آبار مياه الري والمياه الصالحة للشرب في الموقع، وينصح بعمل كتلة خراسانية بامتداد ٣,٠ م في كل الاتجاهات. أما ينابيع الشرب فلابد أن تحظى

بأغطية خاصة ذاتية الإغلاق لحمايتها من الرذاذ الآتي من نظم الري بالرش والتي تستخدم المياه المعالجة.

كافة خطوط أنابيب المياه المعالجة، وصماماتها، وغيرها من الأدوات لابد من أن يتم تمييزها بشكل واضح. فخطوط أنابيب المياه المعالجة لابد أن تكون ذات لون مختلف أو نمط زخرفة مختلف (مثل أن تكون مخططة) عن خطوط أنابيب المياه الصالحة للشرب. ويعتبر اللون الإرجواني هو اللون المفضل. ولابد أن تكون علامات التحذير عديدة وواضحة، ولاسيما بخلفية إرجوانية. وعلى سبيل المثال، لابد لبطاقات نتائج مباريات الجولف وغيرها من المواد المطبوعة أن تحتوي على تحذيرات ملائمة.

تركيب أجهزة استشعار الضغط المنخفض مع نظام التحكم في نظام الري لإغلاق النظام في حالة التصرف غير المنضبط الناتج من كسر في أحد الأنابيب أو الفوهات. وإدراج صمامات للغسيل بالدفق على ارتفاعات منخفضة عند نهاية خطوط الأنابيب. وإدراج صمامات لتفريغ الهواء عند مواضع مرتفعة في خطوط الأنابيب.

واعتماداً على تركيز المواد الصلبة العالقة في خطوط أنابيب المياه المعالجة، واستخدم المياه القذرة تستخدم صمامات وفوهات تكون أقل عرضة للانسداد (على سبيل المثال، الفوهات التصادمية بدلاً من الفوهات المدفوعة بالتروس والفوهات ذات صمامات الرأس). فإذا كانت المياه المعالجة عالية الملوحة، يجب تجنب استخدام المعادن المختلفة في مكونات النظام.

وإذا كان تخزين المياه المعالجة أمراً ضرورياً، استخدم خزانات التخزين بدلاً من الصهاريج. فإذا ما كان سيتم تخزين المياه المعالجة في صهريج، يحتمل عندئذ أن يقتضي الأمر القيام بالترشيح عند نقطة السحب. وإذا ما كان سيتم استخدام نظام الري الدقيق، فضع في اعتبارك أن تستخدم شبكة منخلية أولية ذات فتحات تبلغ من ١٠ إلى ٣٠ فتحة عند مدخل المصدر، ومرشح وسطي للطحالب وغيرها من الشوائب الصلبة العالقة، مع مرشح منخلي من الإستنلس ستيل. قم بتصميم صهاريج التخزين بحسب الموقع عند الري بمياه الصرف للتقليل من احتمالات ظهور مشاكل بسبب الحشائش

الضارة، والطحالب، والرائحة، والأمور الجمالية، والمخاطر الصحية. وكلما أمكن، فإنه ينبغي القضاء على تدفق السائل الجديد إلى داخل صهريج التخزين خلال فترة الري لتفادي تقصير الري. ولابد من تجنب التقليب الميكانيكي أو غيره من مصادر التقليب الأخرى، خلال الري، فيما عدا في الحالة الخاصة للإزالة غير المتكررة للرواسب أو الأوحال، وهو ما يتطلب معدات خاصة، وتدابير وقائية فيما يخص المحاصيل، والتوقيت، والمعدلات، وممارسات التحكم في عملية الجريان السطحي. قم بمراعاة سمات التهوية والأكسدة لصهاريج تخزين المياه المعالجة، والسمات المائية التي تقوم بتجميع الجريان السطحي من موقع ري الأرض. وهذه السمات تشمل الينابيع، والمساقط المائية (الشلالات)، والأهوار المشيدة لحاقنات أكسدة البكتريا وحاقنات الهواء. ولابد لصهاريج تخزين المياه المعالجة في المواقع من أن تتم حمايتها ضد وصول الأفراد إليها، ما لم تكن تلك المياه تستوفي معايير التلامس الأولية مع البكتريا والتي وضعتها وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA.

واستخدم نظام ري ثنائي (أي اثنين من نظم الري بمصادر مياه منفصلة) إن كانت المياه المعالجة تحتوي على الآنيونات أو غيرها من المكونات التي يمكنها أن تؤثر سلباً على نمو أو مظهر نباتات الزينة، أو مسطحات وتلال ملاعب الجولف الخضراء، وغيرها من النباتات الحساسة. وهذا الأمر ضروري بشكل خاص عندما تكون وحدة معالجة مياه الصرف الصحي متوقفة لأعمال الصيانة أو عندما تكون توقيتات التسليم غير موثوق بها. فإذا كانت المياه المعالجة أو مياه الصرف الصحي من نوعية رديئة، فإن مزجها بالماء العذب سيساعد في مكافحة إجمالي المواد الصلبة الذائبة، وإجمالي المواد الصلبة العالقة، والمحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي BOD.

(٢٠,٩) المراقبة

هناك نوعان من اشتراطات المراقبة. النوع الأول هو إجراءات المراقبة القياسية تقريباً لتحديد ما إذا كان نظام الري يعمل وفقاً لمواصفات التصميم أم لا. أما النوع الثاني

فهو المراقبة لتحديد ما إذا كان نظام المعالجة داخل الأرض يعمل وفقا لمواصفات التصميم أم لا، مع التأكيد على حماية صحة الإنسان (Westcot, 1997). ومراقبة أداء نظام الري تغطيه بشكل مناسب أجزاء أخرى من هذه الدراسة، ومن ثم فإن التركيز هنا سينصب على مراقبة أداء معالجة الأرض. وقد ينقسم ذلك إلى فئتين هما: مراقبة الالتزام، ومراقبة عملية التشغيل (Reed and Crites, 1984). فأما مراقبة الالتزام فلابد أن تشمل تفاصيل عن أخذ العينات في خطة إدارة الجودة (Wescot and Ayers, 1985). والمساعدة في وضع الخطة يمكن الحصول عليها من هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS، و/أو هيئة الخدمات الإرشادية التعاونية، وهي إحدى وكالات جودة المياه الحكومية أو الفيدرالية، و/أو إحدى المؤسسات الهندسية الاستشارية.

(٢٠,٩,١) مراقبة الالتزام

إن مراقبة الالتزام بالنسبة لمحتوى العناصر المغذية في الجريان السطحي، ومحتوى العناصر المغذية في ماء التربة المتسرب إلى المياه الجوفية، وحمولة العناصر المغذية، والحمولة الهيدروليكية، تقع جميعها تحت طائلة المبادئ الإرشادية واللوائح التنظيمية لإحدى الوكالات الحكومية أو الفيدرالية. وقد يستلزم الأمر وجود وثائق. وبالنظر إلى الطبيعة الديناميكية للمبادئ الإرشادية واللوائح التنظيمية، والاختلافات الموجودة بين مختلف مناطق الصلاحيات القضائية، فإن هذا القسم لا يفترض اعتباره مصدراً رسمياً فيما يخص اشتراطات المراقبة. بل يجب التشاور مع هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS، واختصاصيي إدارة مخلفات الامتداد الحكومية، ومشاورة المهندسين، ووكالة حماية البيئة الاتحادية للدولة ووكالات الموارد الطبيعية. وحفظ السجلات بشكل عام مسئولية القائم على تشغيل أو إدارة نظام معالجة الأرض.

(٢٠,٩,٢) مراقبة التشغيل

إن مراقبة عملية التشغيل لمعالجة الأرض بمياه الصرف الصحي تخدم الأغراض التالية (USEPA, 1981; Westerman and King, 1983): التحقق من الأداء النسبي لمعدل التحميل، والأثر البيئي، وفعالية المعالجة، وتقدير تدهور التربة والمياه الجوفية

وماء التربة، وتقييم منظومة التربة والنبات للتأكد من أنه يتم الإبقاء على الغطاء النباتي الحيوي وأن التحكم في نمو النبات هو تحكم فعال، وتحدي مدى سلامة استخدام النباتات المحصودة أو المرعية، ولمراقبة مياه الصرف الصحي ومعدل تكوينها ومعدل تطورها لرصد التغيرات الهامة التي تؤثر على عملية تشغيل النظام، ولمراقبة فعالية عمليات المعالجة السابقة لتطبيق المياه المعالجة أو مياه الصرف الصحي على الأرض، ولتحديد الاحتياجات اللازمة من أنظمة الصرف تحت السطحية ومحسنات التربة والعناصر المغذية الإضافية أو أي تدابير تقويمية أخرى.

(٢٠,٩,٣) التربة

بعض البيانات المطلوبة عن أنواع التربة من أجل تصميم نظام معالجة الأرض ستعمل كذلك كمعلومات قياسية لبرنامج المراقبة. فإذا كانت مياه الصرف الصحي بها مكونات ستتم إزالتها عن طريق معالجة التربة، فإن معلومات التربة ستعمل أيضاً كخط أساس. فأما بيانات خلفية التربة التي يتطلبها هذا المقياس الأساسي فتشمل: القوام، والهيكل البنائي، والشكل، ومعدل التسرب، والنفاذية، والاختلافات الأفقية والعمودية للتربة والتي تؤثر على تطبيق الماء في التربة، وخلفية محتوى الفسفور والنيتروجين، مع التركيز بشكل خاص على أنواع مختلفة من الفسفور، ومحتوى المعادن الثقيلة، ومحتوى وأشكال الكالسيوم والحديد والألمونيوم، إذا كانت حمولة الفسفور عند معدل يتجاوز معدل امتصاص المحاصيل وإزالتها، والخصائص الكيميائية للتربة، وماء التربة بما يشمل معدل CEC، ودرجة الحموضة pH، وإجمالي الملوحة، أو التوصيل الكهربائي، وأنيونات معينة، ونسبة امتصاص الصوديوم SAR، والمحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي COD، وطاقة جهد الاختزال والأكسدة Eh، والقلوية، والقدرة على امتصاص الفسفور، والمادة العضوية، ومناسيب المياه الجوفية (والتي تكون موسمية) ومدى ميلها، والمكونات والخصائص الكيميائية للمياه الجوفية، إن كانت المياه الجوفية ضحلة بما فيه الكفاية لتكون عاملا في عملية ري الأرض (وتلك تشمل النترات والأشكال الأخرى للنيتروجين، والآنيونات، والرقم

الهيدروجيني pH، وطاقة جهد الاختزال والأكسدة Eh، والمحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي COD، والفسفور، والقلوية، والكربون العضوي، والمعادن بما فيها الكالسيوم والحديد والألومنيوم).

(٢٠,٩,٤) المياه الجوفية والغطاء النباتي

في بعض الحالات، لابد من مراقبة المياه الجوفية بشكل دوري خلال عملية تشغيل نظام الري ومعالجة الأرض. ولابد أن يتم تحديد مواقع آبار المراقبة عند أعلى انحدار للمياه الجوفية، وفي داخل موقع الري، وفي أسفل انحدار المياه الجوفية إن كان تكوين التربة إلى المياه الجوفية نفاذا وكان احتمال تلوث المياه الجوفية قائماً. واختيار المواقع بعناية، وكذلك استخدام أغلفة للآبار، هما من الأمور المهمة لتلافي تلوث المياه الجوفية. وتعتبر دراسة جورج وآخرين George *et al.* (1987) مرجعاً ممتازاً لتصميم برنامج لمراقبة المياه الجوفية لموقع متأثر بحمولة مفرطة.

ولابد لبرنامج المراقبة من أن يشمل أخذ عينات من النباتات. فمتغيرات الغطاء النباتي ذات الأهمية تشمل الإنتاجية و/أو إجمالي المادة المجففة المزالة بالحصاد، ومحتوى العناصر المغذية، لاسيما إجمالي النيتروجين والنترات والفسفور. وفترات أخذ العينات لمراقبة نمو النبات تكون في العادة عند الحصاد. فمواعيد وإنتاجيات الحصاد لابد من أن يتم تسجيلها، مع تسجيل محتوى العناصر المغذية إذا أمكن. وأخذ عينات فيما قبل الحصاد هو أمر ملائم عندما يكون من المفترض جني أو حصاد النباتات كأعلاف على فترات، حين يكون محتوى العناصر المغذية عالياً بما فيه الكفاية ليكون ساما للماشية. فهذه الظروف تتواجد بشكل أساسي مع محاصيل الحبوب ومحاصيل الذرة ذات خصوبة النيتروجين العالية أثناء الظروف المواتية لمعدلات التمثيل الضوئي المتدنية (الجو البارد الملبد بالغيوم، مع انخفاض رطوبة التربة) (Heath *et al.*, 1985). ولابد من استشارة متخصص زراعي لتوفير البيانات الخاصة بأفضل برنامج أخذ عينات للمحصول أو العلف.

(٢٠,٩,٥) المياه

أحد التنظيمات المقترحة لمراقبة مياه الصرف الصحي سوف يتضمن عينات من المقومات والخصائص التالية في مواضع دخول وخروج المياه المتدفقة: أشكال النيتروجين، مثل العضوي، وكلدال، والآمونيوم، والنترات؛ وأشكال الفسفور، مثل مركبات الأورثوفوسفات، والعضوي، وغير العضوي، البيولوجي، والتفاعلي المنتزع لأوكسيد الحديد؛ والصوديوم، والكالسيوم، والماغنسيوم من أجل حساب نسبة امتصاص الصوديوم SAR أو معدل ESP، والتوصيل الكهربائي، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة، وطاقة جهد الاختزال والأكسدة Eh، والرقم الهيدروجيني pH، والأوكسجين الذائب، والمعادن الثقيلة، والقلوية، والمحتوى المطلوب من الأوكسجين الكيميائي أو البيوكيميائي (الكيميائي الحيوي) BOD/COD، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة أو العالقة، مع الفصل بين الأجزاء المتطايرة والثابتة، ومسببات الأمراض أو الكائنات الحية المؤشرة إن كان استخدام مياه الصرف الصحي يتم في منطقة يمكن للعامة الوصول إليها؛ والزيوت والشحوم إن كانت مياه الصرف الصحي آتية من مصدر البلديات أو مصدر معالجة صناعي، وإجمالي الكربون العضوي TOC، اعتماداً على مصدر مياه الصرف الصحي، والمركبات العضوية المتطايرة VOC، اعتماداً على مصدر مياه الصرف.

(٢٠,٩,٦) تكرارية المراقبة

إن تكرارية برنامج المراقبة يعتمد على حجم النظام، والتأثير المحتمل لأي تغيرات على عملية تشغيل النظام. فتكرارية مراقبة الالتزام تضعها الوكالات التنظيمية أو وكالات السماح المعنية. أما تكرارية مراقبة عملية التشغيل لأنظمة مياه الصرف الصحي فلابد أن تكون على الأقل فصلية (ربع سنوية) أي كل ثلاثة شهور، مع مراقبة سنوية للأعلاف والتربة ومتغيرات المياه الجوفية (Reed and Crites, 1984). أما التغيرات الهامة في الحمولة أو التدفق فقد تدفع إلى أخذ العينات على أساس أكثر تكراراً. ومناسيب المياه في البحيرات والبرك والصهاريج المستخدمة في تخزين المياه

المعالجة أو مياه الصرف الصحي قبل سحبها للري، فلابد من أن يتم قياسها على الأقل بصفة أسبوعية. ولابد من قياس شكل ومقدار المطر بصفة يومية.

وتشترط الهيئات التنظيمية أو هيئات السماح المعنية إجراء مراقبة في الموقع. ولابد من أن يتم تسجيل مواعيد ومقادير الري. وبشكل مثالي، فإنه سيتم مراقبة وتسجيل أسس جدولة الري، مثل معدل استنزاف رطوبة التربة، ومعدل مقدار الماء المفقود في البخر-نتح. و على كل الأحوال، فإن هذا الأمر لا يعتبر أمراً عملياً في الكثير من مواقع وعمليات الري بمياه الصرف الصحي. كما يجب أن يتم تسجيل صيغ مكونات الأسمدة الإضافية، ومعدلاتها. وكذلك ينبغي تسجيل استخدام أسمدة النفايات الصلبة أو العجينية، أو الأسمدة التجارية، وتطبيقها في موقع الري بمياه الصرف، إن وجدت.

المراجع

Adin, A., and M. Elimelech. 1989. Particle filtration for wastewater irrigation. J Irrig. Drain. Eng. 115: 474-487.

Adin, A., and M. Sacks. 1991. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. J. Irrig. Drain. Eng. 117: 813-826.

Ali, I. 1987 Wastewater criteria for irrigation in arid regions. J. Irrig. Drain. Eng. 113: 173- 183.

Allhands, M. N., S. A. Allick, A. R. Overman, W G. Leseman, and W Vidak. 1995. Municipal water reuse at Tallahassee, Florida. Trans. ASAE 38: 411-418.

Asano, T., D. Richard, R. W Crites, and G. Tchobanoglous. 1992. Evolution of tertiary treatment requirements in California. Water Environ. & Tech. 4(2): 36-41.

Ayres, R. M., G. P Alabaster, D. D. Mara, and D. L. Lee. 1992. A design equation for human intestinal nematode egg removal in waste stabilization ponds. Water Res. 26: 863- 865.

Barnes, R. F., D. A. Miller, and C. J. Nelson, eds. 1995. Vol I: Forages. In An Introduction to Grassland Agriculture. 5th ed. Ames Iowa: Iowa State Univ. Press.

Bowmer, K. H., and P Laut. 1992. Wastewater management and resource recovery in intensive rural industries in Australia. Water Res. 26: 201-208.

Brenner, K. P., P V Scarpino, and C. S. Clark. 1988. Animal viruses, coliphages, and bacteria in aerosols and wastewater at a spray irrigation site. Appl. Environ. Micro. 54: 409-415.
Broadbent, F E., and H. M. Reisenaur. 1985. Fate of wastewater constituents in soil and groundwater: nitrogen and phosphorus. In Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual, 12.1-12.16. G. S. Pettygrove and T. Asano, eds. Boca Raton, Fla.: Lewis Pub.
Burton, T. M., and D. L. King. 1981. The Michigan State University water quality management facility: A lake-land system to recycle municipal wastewater. In Municipal Wastewater in Agriculture, 249-269. F M. d'Itri, J. Aguirre-Martinez, and M. Athie-Lambarri, eds. New York, N.Y.: Academic Press.
Chamblee, D. S., and A. E. Spooner. 1985. Hay and pasture seedlings for the humid south. In Forages: The Science of Grassland Agriculture, 359-370. 4th ed. M. E. Heath, R. F Barnes, and D. S. Metcalf, eds. Ames Iowa: Iowa State Univ. Press.
Crites, R. W 1987. Winery wastewater land application. In Proc. Conf Irrigation and Drainage Division, ASCE, Irrigation Systems for the 21st Century, 529-536. L. G. James and M. J. English, eds. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
Cross, P., and J. L. Jackson, Jr. 1993. Citrus trees blossom with reclaimed water. Water Environ. & Tech. 5(Feb): 27-28.
Daniel, T. C., D. R. Edwards, and A. N. Sharpley. 1993. Effect of extractable soil surface phosphorus on runoff water quality. Trans. ASAE 36: 1079-1085.
Diaz, O. A., K. R. Reddy, and P. A. Moore, Jr. 1994. Solubility of inorganic phosphorus in stream water as influenced by pH and calcium concentration. Water Res. 28: 1755-1763.
Dravnieks, A. 1979. Measurement methods. In Odors from Stationary and Mobile Sources, 82-168. National Research Council. Washington, D.C.: National Academy Press.
Durand, R., and G. Schwebach. 1989. Gastrointestinal effects of water reuse for public park irrigation. American J Public Health 79: 1659-1660.
El Hamouri, B., K. Khallayoune, K. Bouzoubaa, N. Rhallabi, and M. Chalabi. 1994.
High-rate algal pond performance in faecal coliforms and helminth egg removals. Water Res. 28: 171-174.
Fox, D. R., and G. S. Nuss. 1987. Management challenges affecting agricultural reuse of high-strength food processing wastes. In Proc. Conf Irrigation and Drainage Division, ASCE, Irrigation Systems for the 21st Century, 537-544. L. G. James and M. J. English, eds. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
George, D. B., D. B. Leftwhich, N. A. Klein, and B. J. Claiborn. 1987 Redesign of a land treatment system to protect groundwater. J WPCF 59: 8 I 3-820.

George, M. R., G. S. Pettygrove, and W B. Davis. 1985. Crop selection and management. In Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual, 6.1-6.18. G. S. Pettygrove and T. Asano, eds. Boca Raton Fla.: Lewis Publishers.

Goldman, J. C., D. Procella, E. J. Middlebrooks, and D. F. Toerien. 1972. The effect of carbon on algal growth: Its relationship to eutrophication. Water Res. 6: 637-679.

Greenberg, A. E., L. S. Clesceri, and A. D. Eaton. eds. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. American Public Health Assn., American Water Works Assn. and Water Environ. Fed. Washington, D.C.: APHA.

Gushiken, E. C. 1995. Irrigating with reclaimed water through permanent subsurface drip irrigation systems. In Proc. Fifth Int'l Microirrigation Congress, 269-274. F L. Lamm, ed. St Joseph Mich.: ASAE.

Hansen, J. S., and J. E. Ongerth. 1991. Effects of time and watershed characteristics on the concentration of Cryptosporidium oocysts in river water. Appl. and Environ. Micro. 57: 2790-2795.

Heath, M. E., R. F Barnes, and D. S. Metcalf, eds. 1985. Forages: The Science of Grassland Agriculture. 4th ed. Ames Iowa: Iowa State Univ. Press.

Heaton, R. D. 1981. Worldwide aspects of municipal wastewater reclamation and reuse. In Municipal Wastewater in Agriculture, 43-74. F M. D'Itri, J. Aguirremartinez, and M. Athie-Lambarri, eds. New York, N.Y.: Academic Press.

Hegg, R. O., A. T. Shearin, D. L. Handlin, and L. W Grimes. 1984. Irrigation of swine lagoon effluent onto pine and hardwood forests. Trans. ASAE 27: 1311-1418.

Hills, D. J., and M. J. Brenes. 2001. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. Appl Eng. in Agric. 17: 303-308.

Hills, D. J., and M. Tajrishy. 1995. Treatment requirements of secondary effluent for microirrigation. In Proc. Fifth Int'l Microirrigation Congress, 887-892. F L. Lamm, ed. St Joseph Mich.: ASAE.

Hubbard, R. K., D. L. Thomas, R. A. Leonard, and J. L. Butler. 1987 Surface runoff and shallow ground water quality as affected by center pivot applied dairy cattle wastes. Trans. ASAE 30: 430-437

Husu, J. R., S. K. Sivela, and A. L. Rauramaa. 1990. Prevalence of Listeria species as related to chemical quality of farm-ensiled grass. Grass and Forage Sci. 45: 309- 314.

Hutchins, S. R., M. B. Tomson, P B. Bedient, and C. H. Ward. 1985. Fate of trace organics during land application of municipal wastewater. CRC Critical Reviews in Environ. Control 15: 355-427.

Jones, C. A., M. E. Harper, B. Horton, and T. J. Smayda. 1993. Wastewater treatment and disposal facility for a vegetable processing facility. In Nat'I. I Conf Irrig. Drain. Eng. ASCE, Management of Irrigation and

Drainage Systems: Integrated Perspectives, 93-100. R. G. Allen, and C. M. U. Neale, eds. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.

Jonsson, A. 1991. Growth of Clostridium tyrobutyricum during fermentation and aerobic deterioration of grass silage. J. Sci. Food and Agr. 54: 557-568.

Juanico, M., Y Azov, B. Teltsch, and G. Shelef. 1995. Effect of effluent addition to a freshwater reservoir on the filter clogging capacity of irrigation water. Water Res. 29: 1695- 1702.

Keeney, D. R. 1983. Transformations and transport of nitrogen. In Agricultural Management and Water Quality, 48-64. F W. Schaller, and G. W. Bailey, eds. Ames Iowa: Iowa State Univ. Press.

Kirkham, M. B. 1986. Problems of using wastewater on vegetable crops. HortSci. 21: 24- 27.

LeChevallier, M. W., W D. Norton, and R. G. Lee. 1991. Occurrence of Giardia and Cryptosporidium spp. in surface water supplies. Appl. and Environ. Micro. 57: 2610-2616.

Lejano, R. P., F A. Grant, T. G. Richardson, B. M. Smith, and F. Farhang. 1992. Assessing the benefits of water reuse. Water Environ. & Tech. 4(8): 44-47.

Loehr, R. C., W W Carey, A. Kull, and C. A. Swift. 1988. Full-scale land treatment of coffee processing wastewater. J. Water Pollution Control Fed. 60: 1948-1952.

Loehr, R. C., W. J. Jewell, J. D. Novak, W. W. Clarkson, and G. S. Friedman. 1979. Land Application of Wastes. Vol II. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series.

Loehr, R. C., C. S. Martin, and W. Rast, eds. 1980. Phosphorus Management Strategies for Lakes. Ann Arbor, Mich.: Ann Arbor Science.

Mackenzie, W. R., N. J. Hoxie, M. E. Proctor, M. S. Gradus, K. A. Blair, D. E. Peterson, J. J. Kazmierczak, D. G. Addiss, K. R. Fox, J. B. Rose, and J. Davis. 1994. A massive outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. New England J. Med. 331: 161-167.

Mantovani, P., T. Asano, A. Chang, and D. A. Okun. 2001. Management practices for nonpotable water reuse. Project 97-IRM-6. Alexandria, Va.: Water Environ. Res. Foundation.

McBride, M. B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. New York, N.Y.: Oxford Univ, Press.

MWPS. 1993. Livestock Waste Facilities Handbook. 3rd ed. Midwest Plan Service Publication No. MWPS-18. Ames, Iowa: Iowa State Univ, Press.

Moore, B. E., D. E. Cammann, C. A. Turk, and C. A. Sorber. 1988. Microbial characterization of municipal wastewater at a spray irrigation site: The Lubbock infection surveillance study J. Water Pollution Control Fed. 60: 1222-1230.

NAS. 1978. Nitrates: An Environmental Assessment. National Academy of Sciences. Washington, D.C.: National Academy Press.

NRC. 1996. Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production. National Research Council. Washington, D.C.: National Academy Press.

NRC. 1998. Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water. National Research Council. Washington, D.C.: National Academy Press.

Niemi, R. M., and J. S. Niemi. 1991. Bacterial pollution of waters in pristine and agricultural1ands. J. Environ. Qual. 20: 620-627.

Ongerth, J. E., and H. H. Stibbs. 1987 Identification of Cryptosporidium oocysts in river water. Appl. and Environ. Micro. 53: 672-676.

Oron, G., Y. DeMalach, Z. Hoffman, and Y Manor. 1992. Effect of effluent quality and application method on agricultural productivity and environmental control. Water Sci. Tech. 26: 1593-1601.

Ostling, C. E., and S. E. Lindgren. 1991. Bacteria in manure and on manured and NPK-fertilized silage crops. J. Sci. Food Agric. 55: 579-588.

Overman, A. R., and T. Schanze. 1985. Runoff water quality from wastewater irrigation. Trans. ASAE 28: 1535-1538.

Page, A. L., and A. C. Chang. 1981. Trace metals in soils and plants receiving municipal wastewater irrigation. In Municipal Wastewater in Agriculture, 351-372. F M. d'Itri, J. Aguirre-Martinez, and M. Athie-Lambarri, eds. New York, N.Y.: Academic Press.

Parsons, L. R., T. A. Wheaton, and P Cross. 1995. Reclaimed municipal water for citrus irrigation in Florida. In Proc. Fifth Int'l Microirrigation Congress, 262-268. F L. Lamm, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Peacock, C. H. 1994. Wastewater irrigation for golfcourses: Advantages versus disadvantages. In Wastewater Reuse for Golf Course Irrigation, 204-220. United States Golf Association. Chelsea, Mich.: Lewis Publ.

Phene, C. J., and R. Ruskin. 1995. Potential of subsurface drip irrigation for management of nitrate in wastewater. In Proc. Fifth Int'l Microirrigation Congress, 155-167. F L. Lamm, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Rammer, C., C. Ostling, P. Lingvall, and S. Lindgren. 1994. Ensiling of manured crops: Effects on fermentation. Grass and Forage Sci. 49: 343-351.

Ravina, I, E. Paz, G. Sagi, A. Schischa, A. Marcu, Z. Yechiely, Z. Sofer, and Y Lev. 1995. Performance evaluation of filters and emitters with secondary effluent. In Proc. Fifth Int'l Microirrigation Congress, 244-249. F L. Lamm, ed. St Joseph Mich.: ASAE.

Reddy, K. R. 1981. Diel variations of certain physico-chemical parameters of water in selected aquatic systems. Hydrobiologia 85: 201-207.

Reed, S. C., and R. W. Crites. 1984. Handbook of Land Treatment Systems for Industrial and Municipal Wastes. Park Ridge, N.J.: Noyes Press.

Reed, S. C., E. J. Middlebrooks, and R. W Crites. 1988. Natural Systems for Waste Management and Treatment. New York, N.Y.: McGraw-Hill.
Ritter, W. F. 1987 An overview of factors affecting land application of food processing wastes. In Proc. Conf Irrigation and Drainage Division, ASCE, Irrigation Systems for the 21st Century, 521-528. L. G. James, and M. J. English, eds. Reston, Va.: American Soc. Civil Engineers.
Rosas, I., A. Baez, and M. Coutino. 1984. Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots, Mexico City, Mexico. Appl. and Environ. Micro. 47: 1074-1079.
Rose, J. B. 1986. Microbial aspects of wastewater reuse for irrigation. CRC Critical Rev. Environ. Control 16: 231-256.
Russell, J. M., R. N. Cooper, and S. B. Lindsey. 1993. Soil denitrification rates at wastewater irrigation sites receiving primary-treated and anaerobically treated meat processing effluent. Bioresource Tech. 43: 41-46.
Sagi, G., E. Paz, I. Ravina, A. Schischa, A. Marcu, and Z. Yechiely. 1995. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In Proc. Fifth Int'l Microirrigation Congress, 250- 252. F. L. Lamm, ed. St, Joseph, Mich.: ASAE .
Schwebach, G. H., D. Cafaro, J. Egan, M. Grimes, and G. Michael. 1988. Overhauling health effects perspectives. J. Water Pollution Control Fed. 60: 473-479.
Shamloufard, J., K. Weinberg, and R. Fomelli. 1995. Water water everywhere. Civil Eng. 65(9): 43-46.
Sharpley, A. N., S. J. Smith, B. A. Stewart, and A. C. Mathers. 1984. Forms of phosphorus in soil receiving cattle feedlot waste. J. Environ. Qual. 13: 211-215.
Sharpley, A. N., and P J. A. Withers. 1994. The environmentally sound management of agricultural phosphorus. Fert. Res. 39: 133-146.
Sheikh, B., R. P, Cort, W. R. Kirkpatrick, R. S. Jaques, and T. Asano. 1990. Monterey wastewater reclamation study for agriculture. Res. J. WPCF 62(3): 216-226.
Sherer, B. M., J. R. Miner, J. A. Moore, and J. C. Buckhouse. 1992. Indicator bacteria survival in stream sediments. J. Environ. Qual. 21: 591-595.
Shuval, H. I., A. Adin, B. Fattal, E. Rawitz, and P. Yekutiel. 1986. Wastewater irrigation in developing countries: Health effects and technical solutions. UNDP Project Management Report No.6. World Bank Technical Paper 51. Washington, D.C.: The World Bank.
Shuval, H. I., Y. Wax, P. Yekutiel, and B. Fattal. 1989. Transmission of enteric disease associated with wastewater irrigation: A prospective epidemiological study. American J. Public Health 79: 850-852.
Sneed, R. E. 1991. Land application of wastewater and sludges. Irrig. J. 41 (5): 10- 12+.

SCS. 1983. Chapt. 11: Irrigation. Section 15: Sprinkle irrigation. In National Engineering Handbook. Washington, D.C.: USDA, Soil Conservation Service.

SCS. 1992. Agricultural Waste Management Field Handbook, Part 651. Washington, D.C .. USDA, Soil Conservation Service.

Stumm, W., and J. J. Morgan. 1996. Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. 3rd ed. New York, N.Y.: Wiley-Interscience, John Wiley & Sons.

Sweeten, J. M., and M. L. Wolfe. 1994. Manure and wastewater management systems for open lot dairy operations. Trans. ASAE 37: 1145-1154.

Tanji, K. K., ed. 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Tchobanoglous, G., and F L. Burton. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 3rd ed. New York, N.Y.: McGraw-Hill, Metcalf & Eddy, Inc.

Tedaldi, D. J., and R. C. Loehr. 1992. Effects of waste-water irrigation on aqueous geochemistry near Paris, Texas. Ground Water 30: 709-719.

TNRCC. 1994. 30 TAC 321.34 Texas Register. December 19: 10281-10394. Austin Tex.: Texas Natural Resources Conservation Commission.

TWC. 1990. Control of certain activities by rule. Subchapter B. Livestock and poultry operations. 31 TAC 321.42-321.46. Texas Register- April 27: 2420-2421 and June 22: 3639-3640. Austin, Tex.: Texas Water Commission.

Thelin, R., and G. F Gifford. 1983. Fecal coliform release patterns from fecal material of cattle. J. Environ. Qual. 12: 57-63.

Thompson, R. B., D. Morse, K. A. Kelling, and L. E. Lanyon. 1997. Computer programs that calculate manure application rates. J. Prod. Agric. 10: 58-69.

Trooien, T. P., F R. Lamm, L. R. Stone, M. Alam, D. H. Rogers, G. A. Clark, and A. J. Schlegel. 2000. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: Dripline flow rates. Appl. Eng. Agric. 16: 505-508.

USGA. 1994. Wastewater Reuse for Golf Course Irrigation. United States Golf Assoc. Boca Raton, Fla.: Lewis Pub.

USEPA. 1981. Process Design Manual: Land Treatment of Municipal Wastewater. Cincinnati Ohio: USEPA Center for Environmental Research Information.

Vymazal, J. 1995. Algae and Element Cycling in Wetlands. Boca Raton, Fla.: Lewis Pub.

Ward, B. K., and L. G. Irving. 1987 Virus survival on vegetables spray-irrigated with wastewater. Water Res. 21: 57-63.

Ward, R. L., D. R. Knowlton, J. Stober, W. Jakubowski, T. Mills, P Graham, and D. E. Camann. 1989. Effect of wastewater spray irrigation on

rotavirus infection rates in an exposed population. Water Res. 23: 1503-1509.

Westcot, D. W. 1997. Quality Control of Wastewater for Irrigated Crop Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy: FAO.

Wescot, D. W., and R. S. Ayers. 1985. Chapt. 3: Irrigation water quality criteria. In Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual, 1-37. G. S. Pettygrove and T. Asano, eds. Boca Raton, Fla.: Lewis Pub.

Westerman, P W., and L. D. King. 1983. General guidelines for land treatment of wastewater. Report No.2. Land Treatment Series. Raleigh N.C.: Water Resources Research Institute, Univ of North Carolina.

Wheaton, F W. 1977. Aquacultural Engineering. New York, N.Y .. John Wiley & Sons.

Yoder, R. 1994. Traveling sprinklers: Taming Tennessee's topography. Irrigation J. 44 (7): 14-17.

الفصل الحادي والعشرون

تقييم الأداء

جوزيف م. لورد (شركة ج م لورد، فرنسو، كاليفورنيا)
جيمس إ. أيارز (USDA-ARS، بارلير، كاليفورنيا)

ملخص: يتطلب تقييم أداء نظام الري أكثر من المراقبة البسيطة للعملية الهيدروليكية لنظام ما. فهو يتطلب فهم مكان الري الملائم في إدارة المزرعة، والاحتياجات المائية للمحصول، والخصائص الهيدروليكية للتربة، والظروف الحقلية، واقتصاديات التشغيل. ونقوم في هذا الفصل بمناقشة الخلفية والحاجة إلى التحري الكامل عن تشغيل النظام في سياق الإدارة الكلية للمزرعة. ويتطلب هذا القيام بالتحري عن متغيرات الإدارة التي تؤثر على التشغيل، مثل، قيود إمداد المياه، وقيود الهندسة الزراعية، وقيود العمالة. وسيتم مناقشة مقاييس الأداء التي تميز إدارة وتشغيل النظام. وهناك مناقشة للخواص الفريدة التي تميز كل نظام ري لإلقاء الضوء على الاختلافات في منهج التقييم. وأخيراً تقديم مقترحات لتغطية تقييم الأداء، وتفسير البيانات، وإعداد التقرير، والتوصيات.

الكلمات الأساسية: انتظامية التوزيع، كفاءة الري، أداء نظام الري، تقييم أداء نظام الري، الري الدقيق، الري بالرش، الري السطحي.

(٢١,١) مقدمة

لقد واجه الوادي الأوسط في كاليفورنيا تصاعداً سريعاً في تكلفة المياه الزراعية منذ فترة الجفاف التي وقعت خلال ١٩٨٩-١٩٩٣، وكنتيجة لذلك طبيعية، أدت إلى رفع المنافسة على مصادر المياه بين الجهات الريفية، والبيئية، والسمكية، والحياة البرية، والأغراض الزراعية. وقد تضاعفت تكاليف المياه لضعفين وأحياناً لثلاثة أضعاف. وفي عام ١٩٩٤، قام بنك المياه الذي تحكمه الولاية بوضع قيمة سوقية للمياه الزراعية تبلغ ١٠١ دولار/ ١٠٠٠ م^3. وهذه القيمة خلقت اهتماماً كبيراً في المجتمع الزراعي وفي بعض المناطق من المجتمع الاستثماري، وقد تطلعوا إلى حتى أصغر الفرص لتقليل استخدام المياه في القطاع الزراعي.

إن الطلب المتزايد على المياه والمشكلات المتعلقة بالتخلص من مياه الصرف الزراعية، والقضايا البيئية، وحصص المياه المخصصة للاستخدام الزراعي قد دفعت الوكالات الحكومية (الدولية والفيدرالية) إلى تمويل برامج كبيرة لتقييم أداء نظم الري داخل المزارع. والأسباب الشائعة التي تذكرها وكالات المياه ومقاطعات المياه للقيام بأعمال التقييم لنظم الري في المزارع تشمل الحفاظ على المياه، وتحسين الاستخدام الفعال للمياه، وتقليل الخسائر في التسرب العميق. ولكن، يعد المزارعون أكثر اهتماماً في تحسين إنتاج المزارع، والعائدات المالية، وجعل المصدر المحدود ينتج أكثر.

لقد تم تطوير برنامج المختبر المتنقل لكاليفورنيا لإجراء التقييم داخل المزرعة لنظم الري من قبل وزارة الزراعة بالولايات المتحدة (USDA) وهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية (NRCS) وهيئة الموارد المائية بولاية كاليفورنيا. إن الأهداف المذكورة لبرنامج المختبر المتنقل هي تقييم كفاءة وانتظامية عملية الري، وتحديد المشكلات في تصميم النظام أو إدارته، وتحديد فرص التحسين. وفي عام ١٩٦٦، كانت ٦٠ من وكالات المياه في كاليفورنيا تتشارك التكاليف مع مختبرات كاليفورنيا المتنقلة (هيئة الموارد المائية، ١٩٦٦).

وبغض النظر عمن يقوم بسداد تكاليف الخدمة، فإن تقييم الري في المزارع يتم القيام به عادةً بالنسبة للمالك/المشغل من قبل إحدى الهيئات الفنية أو الخدمية المحترفة. وحتى لو كان يتم تمويلها من قبل مقاطعة المياه أو أي طرف آخر مهتم بالأمر، فإن التقييم ما يزال يجب توجيهه إلى المالك/من يقوم بتشغيل النظام. وإنه أمر معاكس للإنتاج ولا يمثل أي جدوى اقتصادية أن يتم القيام بتقييم شيء ما وعدم محاولة تقديم مقترحات بالتغير أو تحسين إدارة النظام لإلقاء الضوء على وجوه القصور التي تم تحديدها.

ومن المهم للمهندس أو العالم أن يدرك أن، برغم الاعتقاد الشائع، معظم نظم ري المزارع لم يتم تصميمها من قبل مهندسين أو علماء، وإنما تم تطويرها من الممارسات المحلية والنجاحات السابقة. وحتى بداية حقبة الثمانينات، اعتبرت هيئة استصلاح الأراضي بالولايات المتحدة USBR أن ١٦٠ أيكر تعد وحدة زراعية (قانون الاستصلاح)، وليس من الصعب تصديق أن كثيراً من المشروعات الكبيرة لهيئة استصلاح الأراضي بالولايات المتحدة (USBR) كان يُنظر إليها على أنها مكررات مكونة من ١٦٠ أيكر من وحدات الري المتساوية.

ولابد للمهندس أو العالم أن يدرك أن معظم مالكي ومشغلي نظم الري ليسوا مهتمين بالتفاصيل الفنية للتقييم، ولكنهم مهتمون بكيف يمكن للنتائج أن تكون أكثر فاعلية في مساعدتهم على إنتاج محاصيل أفضل و/أو تحقيق تكاليف إنتاج أقل. وفي هذا الصدد، لابد من توجيه عمليات التقييم نحو الهدف منها، وهو كيفية تحسين أداء نظام بعينه. ولا يجب أن يقوم تقييم النظام فقط بقياس وتسجيل هيدروليكا والبيانات الأخرى (التصرف، الضغط، ... إلخ)، وإنما يجب كذلك أن يأخذ في الاعتبار كيف يمكن تحسين مقاييس الأداء الهامة. وتعد التوصيات للمالك/المشغل لعمل بعض التغييرات في تصميم نظام الري، والإدارة، والتشغيل بنفس أهمية البيانات التي يتم تجميعها.

ولقد كانت هناك مادة كبيرة مكتوبة حول كيفية جمع بيانات عن أداء الري. وقد تم ذكر هذا في فصول أخرى وكتب أخرى من بينها ميريام وكلير

Merriam and Keller (1978)، وميريام وآخرون (Merriam *et al.* (1983، وبيرت وليهمكيهل (Burt and Lehmkuhl, (1991، وبيرت وآخرون (Burt *et al.* (1997. ومعظم المصطلحات المستخدمة لتحديد أداء نظام الري تم الموافقة عليها بشكل عام، بالرغم من الخطأ في استخدام بعض منها. وهناك معاملات هائلة العدد يتم استخدامها لوصف أداء الري في المزارع، مثل، معدل الإضافة، وكفاءة الإضافة، وانتظامية التوزيع (كما تم إيجازه في الفصل الخامس). ولكن، للقيام بالوصف الكافي لأداء النظام، فإن هذه المقاييس بحاجة إلى أن يتم عرضها في سياق أكبر من هذا الذي يتضمن في حقل واحد وعملية ري واحدة. وإن الطرق والمعادلات التي يمكن بها تحديد أداء النظام يتم تحديدها بدرجة كبيرة وهي تعد واسعة القبول، وهي تدرك أن طرق الري المختلفة تتطلب خطوات تقييم مختلفة.

إن الهدف من هذا الفصل هو عرض عمليات تقييم نظام الري في المزارع للعمل على إفادة المالك/المشغل. وهو يدمج بين العوامل الزراعية والعوامل الهندسية لتحديد أداء نظام الري. وهو ينبه أيضاً على الجوانب العملية لتقييم نظام ري يعمل ضمن بيئة زراعية منتجة عن طريق الفهم والأخذ في الاعتبار بعمالة من يقوم بتشغيل النظام، ومصدر المياه، والقيود التشغيلية الأخرى على التحليل.

(٢١,٢) إدارة المتغيرات

إن الخطوة الأولى في تقييم نظام ري هي تحديد متغيرات الإدارة ومجال النظام. ومن الممكن تحديد نظام ري المزرعة على أنه مجموعة من العناصر الفيزيائية والاجتماعية التي يتم توظيفها لكي: (١) يتم الحصول على المياه من المصدر (بئر، أو قناة، أو خط أنابيب، أو تفريعة)، و(٢) تعمل على تسهيل ومراقبة حركة هذه المياه في وعبر منطقة بعينها، و(٣) تقوم بنشر هذه المياه داخل منطقة الجذور للمحاصيل التي يتم زراعتها (Small and Svendsen, 1992). وهناك مناقشة للمتغيرات الرئيسية المستخدمة في تحديد نطاق وتشغيل النظام في الأجزاء التالية.

(١,٢,١٢) إمدادات المياه

إحدى الخطوات الهامة في تقييم أحد نظم الري تكون من خلال تحديد وفهم قيود إمدادات المياه. وهي القيود الطبيعية، والكيميائية، والزمنية المرتبطة بمعظم مصادر المياه الزراعية، وفي معظم عمليات تشغيل مقاطعات الري توجد قيود تعاقدية لابد من اعتبارها. وعند تقييم أداء النظام، من الضروري أن يدرك من يقوم بالتقييم علاقات السبب والأثر بين إمدادات المياه وتشغيل النظام. وكل التوصيات الناتجة لابد من أن تأخذ في الاعتبار هذه العلاقات.

وفي عمليات تقييم النظم، يكون هناك حاجة بشكل شائع للبراعة في وصف إمكانيات النظام بدقة عند التعامل مع قيود إمدادات المياه. فعلى سبيل المثال، يمكن للمالك/المشغل أن يقوم بضبط كمية المياه التي يتم إضافتها لمجموعة في فترة من ٢٤ساعة بدون تغيير في الضغط والتصرف من خلال قبول تغير التباعد في نظام الري المنقول يدوياً، الذي يؤدي إلى انخفاض انتظامية التوزيع في عملية ري واحدة ولكنه يعين على استعادة هذا الخفض عن طريق المجموعات البديلة. ومن الهام أن يفهم من يقوم بتشغيل النظام أن المجموعات البديلة لابد من تحريكها لنصف مجموعة، أو بين المجموعات السابقة. ويمكن أن يعمل هذا حتى على تحسين انتظامية التوزيع الكلية للنظام، طالما أن الحقل ليس هناك نقص في ريه. إن "الري الناقص"، كما هو مستخدم هنا، يشير إلى أن عملية الري لا تعيد ملء تخزين منطقة الجذور وأن استنزاف رطوبة التربة سوف تبقى مع اكتمال عملية الري هذه.

(٢,٢,١٢) المعوقات الزراعية

من المستغرب، أن القيام بوضع جدولة للري يتحدد في الغالب بالعمليات الزراعية بدلاً من أن تتم العمليات الزراعية عن طريق الحاجة للري. ويعد غرز مجموعة الأشجار، ومراقبة نمو الحشائش، والحفاظ على نشاط المحصول، ومراقبة الأمراض، وإعداد أماكن وضع البذور كلها اعتبارات زراعية تؤثر على أداء نظام الري ويكون هناك حاجة لأخذها في الاعتبار.

ولقد كانت مقاطعة مياه المستنقعات إحدى الوكالات الزراعية لكثير من عمليات تقييم الري في المزارع التي يتم إجراؤها في وسط كاليفورنيا (Burt and Katen, 1988). وقد طالبت المقاطعة بأنه يجب القيام بكل التقييمات تحت الإشراف المباشر لفريق يتكون من عالم في الهندسة الزراعية (أو التربة أو عالم مياه)، وكذلك مهندس متخصص في الري. وهذا يلقي الضوء على أهمية احتواء التقييم على الزراعة في الحقل.

(٢١,٢,٣) التشغيل

من الذي يتخذ قرار متى يتم الري وكم هو مقدار مياه الري، ومن يقوم بتنفيذ هذا القرار، تعد كلها أسئلة تؤخذ في الاعتبار في تقييم نظام الري، ويتم اتخاذ قرار الري بشكل عام عن طريق المالك/المشغل ويعتمد على من يقوم بالري الذي ينفذ التعليمات. ويعد القائم بالري في الغالب عاملاً مأجوراً لديه فهم أساسي لعملية الري، ولكنه لم يتلق تدريباً رسمياً في طرق إدارة الري التي يمكن استخدامها لتحسين الأداء. ويتم استنتاج زمن الري بالمثل من العمالة المتاحة والمياه المتاحة وليست من الاحتياجات المائية للمحصول جيدة التحديد. وسوف تؤثر أيضاً إتاحة المياه من مصدر الإمداد على الأداء، أي، ما إذا كان نظاماً عند الطلب أو نظاماً دورياً (تناوبياً).

ولقد عملت اللوائح التنظيمية للعمالة في الولايات المتحدة إلى حد كبير على تقليل إتاحة عمال الري الذين يعملون ليلاً. ومن الشائع في الحقول قصيرة الخطوط أن يتم ري مجموعتين يومياً: مجموعة لفترة زمنية طولها ١٠ ساعات والأخرى ١٤ ساعة. ويتم القيام بعملية ري المجموعة التي تستغرق ١٠ ساعات عبر مجموعة محددة من الخطوط، والمجموعة التي تستغرق ١٤ ساعة عل عدد أكبر من الخطوط. ولكلتا المجموعتين بشكل شائع نفس معدل التصرف وبالتالي سوف يختلف بدرجة كبيرة معدل الإضافة، وكفاءة الإضافة، وانتظامية التوزيع، وكفاءة الري (انظر الجزء ٢١,٣) بسبب التغير في المساحة التي يتم ريها وزمن الري.

ومن الممكن إهمال تأثير تشغيل الحقل على الأداء الكلي للحقل إذا لم يتم بذل جهد كبير وجاد في التقييم المسبق للمزرعة، وسوف يعمل فهم موقف المالك/المشغل على الحصول على فوائد كبيرة في كيفية نجاح تسلم التقييم ونوعيته.

(٢١,٢,٤) المخاوف البيئية

إن العلاقة بين إدارة نظام الري وأي مصدر مياه جوفية أساسية تعد اعتباراً بيئياً كبيراً لابد من إدراكه في تقييم نظام ري المزرعة. وإحدى الحالات هي وجود منسوب ماء أرضي معلق يقع في حدود ٣ م من سطح التربة، ومنسوب الماء الأرضي الذي يقع على عمق ٣٠ م تحت التربة جيدة الصرف تعد حالة مختلفة تماماً. وقد خلقت تلك الحالة الأخيرة فرصاً للاستخدام الموحد وتغذية المياه الجوفية، فما يفقده حقل ما يمكن أن يكتسبه حقل آخر. ومرة أخرى ففي الحياة العملية، من الممكن أن يكون التسرب العميق، حتى الأكبر من متطلب الترشيح، مفيداً عندما يأخذ في اعتباره تغذية المياه الجوفية بفرض أن جودة المياه لا تتدهور بدرجة كبيرة. وفي مناطق تطوير الري المكثفة، تعد المياه الجوفية في الغالب جزءًا تكاملياً من مصدر المياه. وفي هذه الحالات، لابد من تشغيل وإدارة مصادر المياه السطحية ومصادر المياه الجوفية بشكل متصل، ولابد من أن تدرك مناهج تقييم النظام هذه العلاقة.

(٢١,٢,٥) الاعتبارات الإنشائية

هناك منشآن زراعيان رئيسيان لنهر كلورادو في جنوب كاليفورنيا يعارضان القيود البيئية المفروضة على مستخدمي المياه. ويعمل إحداهما على تسهيل مغادرة المياه الفائضة للمزرعة، ويعمل الآخر على منع مستخدم المياه من تصريف أي مياه سطحية من المزرعة. وطبقاً لهذا هناك حاجة لإجراء التقييم.

وتقوم كلتا السياستين على الاعتبارات البيئية، ولهذا لا يتضح بسهولة لماذا يكون لهاتين المقاطعتين سياسات تشغيل مختلفة، وبوجه خاص بسبب أن كلتيهما تقوم بتصريف تدفقات العودة في نفس المنخفض الملحي. وقد تشكلت وتم تصميم المقاطعة الأولى منذ ٤٠ عاماً سابقة على المقاطعة الثانية، وكنتيجة لهذا، يمكن أن تعكس

الفلسفات المبكرة لهيئة الاستصلاح بالولايات المتحدة بأن تكون قيمة المياه أكبر في الحصول عليها واستخدامها في مقابل استخدامها بشكل نافع وكفء. ومن الممكن أن تكون تلك الفلسفة المختلفة قد تم تطويرها عن طريق المنافسة الزائدة على موارد المياه السطحية، وعلى وجه التحديد مياه نهر كلورادو.

لقد أدت مقاطعة المياه التي تم تأسيسها أولاً، عند بداية القرن العشرين، إلى تكوين مصرف عميق مفتوح قريباً من كل الخطوط الفرعية للتسليم الخاصة بها على مسافات متباعدة قدرها ٨٠٠ م للعمل على تسهيل إزالة مياه الصرف السطحية وتحت السطحية في المزرعة. ويقوم النظام الآخر الذي تم تطويره في فترة الأربعينات، باستخدام خطوط المياه لتسليم المياه، وقد تم تصميم نظام الصرف الخاص به مياه صرف المزرعة تحت السطحية فقط. ومن المثير للانتباه ملاحظة أن مخطط الري الرئيس الأخير الذي تم تطويره من قبل هيئة الاستصلاح بالولايات المتحدة، وحدة سان لويس من مشروع الوادي الأوسط في حقبة الستينات، قد تم الترخيص له بدون أي تسهيلات تصريف حتى بالرغم من أن حاجات الصرف قد تم إدراكها.

وتؤكد الأمثلة السابقة على أن فهم كيف تم تصميم النظم المستخدمة في المزارع وتشغيلها في سياق تسهيلات وسياسة مقاطعة الري يعد ضرورياً لتفسير معلومات إدارة النظام، كما أن مستخدم المياه الذي يقوم بتصريف ٣٠٪ من مورد الحقل إلى منخفض ملحي يتمتع بكفاءة تقل عن ٧٠٪ في استخدام المياه، بغض النظر عن أي مدى يتم استخدام بقية المياه على نحو منتج ومنتظم. وبالعكس، فمن الخطأ القيام بتوصية للتغيير في إدارة الري بدون فهم القيود على النظام وسياسات التشغيل والتي تعد أموراً مشكوكاً فيها بدرجة أكبر.

(٢١,٢,٦) الاعتبارات الاقتصادية

سوف تؤثر الطاقة والعمالة والمعدات وتكاليف المياه بدرجة كبيرة على إدارة نظام الري في حين أن معظم التقييمات تركز على هيدروليكا وهيدرولوجيا عملية الري. ومن المهم التفكير في التضاربات بين التكاليف المرتبطة بها: العمالة الأقل والأجهزة الأقل، أو

العكس بالعكس. وتعد التكلفة الكلية لكل وحدة من الإنتاج تعريفاً حقيقياً للكفاءة الاقتصادية، ولكن هذا يقع عادة فيما وراء نطاق تقييمات نظام الري في المزارع. ويكون من المطلوب القيام بدراسة عبر عديد من السنوات لتحديد تأثير عمليات الري على الإنتاج الزراعي ولا يتم القيام بها عادةً بسبب التكلفة والزمن الطويل اللازمين.

(٢١,٣) مقاييس الأداء

في مركز كل عملية تقييم توجد مقاييس الأداء. وعند مناقشة الأداء، من المفيد إدراك أن كل نظام ري له دورة حياة ودورة أداء، وبعض أكثر المعلومات قيمة التي يتم إنتاجها لأجل المالك/المشغل هي التغيرات في دورة حياة النظام. فمن الممكن أن تكون دورة الأداء قصيرة المدى وتحدث في العادة خلال عملية الري. ومن الممكن أن تكون ببساطة تقلب الضغط الناتج عن التنظيف العكسي بتدفق المياه، أو التتابع بين أماكن الري المختلفة. إن الأداء اللحظي للنظام يتأثر تقريباً على نحو دائم بالهيدروليكا، والتسرب، والمنسوب. ومن المحتمل أن تكون تغيرات الأداء الأكثر صعوبة في التقييم هي تلك المتعلقة بالتغيرات الموسمية، مثل معدل التسرب للترب التي يتم ريها بالخطوط.

وهناك دورات حياة طويلة المدى متعلقة بدورة حياة مكونات المعدات المستخدمة في النظام، مثل الأجهزة المنقطة أو المضخات. وتلك هي التغيرات الطفيفة، التي تحدث عادة في الهيدروليكا، والتي تحدث عبر فترات زمنية طويلة نتيجة للتآكل داخل النظم عالية الضغط، مثل تآكل دافع المضخة وفوهات الرشاشات بسبب وجود الرمال في المياه. وبالمثل، فبدون صيانة النظام بعناية وبصورة دورية، فإن نظام ري دقيق يستخدم المياه بنسب عالية من المعادن المذابة يمكن أن يتأثر أداء المنقطات بترسب المعادن. ولابد من معرفة دورات الحياة طويلة المدى وقصيرة المدى وعمل حساب لها عند تحليل البيانات.

وتعد الفوائد غير المباشرة المتعلقة بفواقد الحقل صعبة القياس. وهي تتضمن بشكل أساسي فواقد المياه المتعلقة بإدارة الملوحة، والتسرب العميق، و/أو الجريان

السطحي. وعندما تشارك هذه الفواقد في إمدادات الري الأخرى أو تغذية المياه الجوفية، فإنه يكون هناك حاجة لتحديد هذه الفوائد الثانوية في تقييم الأداء. فعلى سبيل المثال، من الممكن اعتبار أن ريًّا ما بعد الموسم لاستنبات الحشائش يعد استخداماً نافعاً. ومن الممكن أن تشارك عملية الري هذه في إدارة الملوحة بحيث يكون الحجم الفعلي المستخدم لاستنبات الحشائش ليس من السهل قياسه.

وهناك تقييمات متعددة مطلوبة لقياس التغيرات في أداء النظام، وللأسف، فإن معظم مناهج التقييم يتم تصميمها حول الحدث المفرد للري. وقد حدد برنامج المختبر المتنقل بكاليفورنيا تقييما واحدا لكل المالك/المشغل. ومن الممكن أن تعمل هذه التقييمات الفردية على تطوير كل مقاييس الأداء الضرورية، ولكنها تنتج فقط لمحة سريعة عن أداء النظام ككل، والأكثر أهمية، أن لديه الإمكانية في أن يقوم بالعرض السيئ لأداء النظام بأكمله. ولا يمكن التأكيد الزائد على قيمة التقييمات المتعددة، وبوجه خاص عندما يتم استخدام تقييم حقل/مزرعة لعرض مقاطعات الري بأكملها واستخدام المياه الزراعية بوجه عام.

وإن المقاييس الأعلى قيمة لتحديد أداء النظام هي معدل الإضافة، وكفاءة الإضافة، وانتظامية التوزيع، والخصائص التشغيلية، وكفاءة الري. وهذه المقاييس مذكورة بترتيب قيمتها لدى المالك/المشغل.

(٢١,٣,١) معدل الإضافة

يعد معدل إضافة النظام أساساً لكل قرارات إدارة الري، وهو القيمة التي يجب على كل من يديرون عملية الري معرفتها، بغض النظر عن كيفية قيامهم بوضع جدولة لعمليات الري الخاصة بهم. وهو المعدل الذي يتم به إضافة المياه لمنطقة ما ويتم التعبير عنه في العادة بالعمق لكل وحدة زمن. وبمعرفة معدل الإضافة، يمكن للمزارع حساب الزمن المطلوب لإضافة كمية المياه المحددة. ولا يتضمن معدل الإضافة الكفاءة أو الانتظامية.

(٢١,٣,٢) انتظامية التوزيع

يـتم اسـتخدام انتظاميـة التوزيـع كمؤشـر لـمشاكل التوزيـع في النظـام ويـتم اسـتخدامها عامـة بـشكل قابـل للتبـادل باسـم انتظاميـة الانبعـاث أو معامـل انتظاميـة كريستنسن (انظر كذلك الفصل الخامس، الجزء (٥,٣,٧)). وأحـد الحـسابات الـشائعة لانتظامية التوزيع DU ، هو:

$$DU = \frac{D_{lq}}{D_{av}} \quad (٢١,١)$$

حيث إن:

D_{lq} = متوسط العمق المتسرب في الأطراف الأكثر انخفاضاً لربع الحقل.

D_{av} = متوسط العمق المتسرب عبر الحقل بأكمله.

وهنـاك تعـبيرات أخـرى مـستخدمة لتحديـد تـساوي إضـافة الـري، ولكـن، للأسف، وعلى كثرتها، لا توجد طريقة مثالية لتحديد الانتظامية. ويعمل الاقتـصاد في الوقت والجهد على تحديد كم يلزم من القياسات القيام به في أي تقييم.

وتعد القيمة الحقيقية لحساب انتظامية التوزيع هي أنها تركز على النظام كمقابـل للإدارة. وكيفية عمل النظام سوف تؤثر على انتظامية توزيع الـري، ولكنهـا تتـأثر بقـوة بتصميم النظام والأدوات المستخدمة.

ومن الممكن أن يكون لنظـام الـري انتظامية عاليـة وأن يكـون مـنخفض الكفـاءة خلال عملية الري الزائد، أو أن يكون له انتظامية منخفضة وأن يكون ذا كفـاءة ١٠٠٪ خلال عملية الري الناقص. والاعتبار الآخر هو مثال الرشاشات المتحركـة يـدوياً والـتي لها انتظامية توزيع مقاسة لعملية ري واحدة. ومن خلال تقيم الحركـة علـى المجموعـات البديلة وتكامل أنمـاط إضـافة النظـام، فإن انتظاميـة التوزيـع لـريتين متعـاقبتين يمكـن أن تصبح عالية ولكن يكون على المقيمين القيام بقياس آثار ريتين منفصلين.

(٢١,٣,٣) كفاءة الإضافة

إن كفاءة الإضافة هي مقياس الأداء التي يكون حولها أكبر خلط. فكفاءة الإضافة، التي تم تعريفها في الفصل الخامس بالمعادلة رقم (٥,٢)، تدمج قرارات الإدارة في التقييم. والتعريف هو:

$$e_a = \frac{V_s}{V_f} \qquad (٢١,٢)$$

حيث إن:

e_a = كفاءة إضافة المياه.

V_s = حجم مياه الري المخزونة للبخر-نتح من قبل المحصول.

V_f = حجم المياه التي تم توصيلها إلى الحقل.

وهناك خطأ شائع في استخدام المصطلح مثل كفاءة نظام الري، والأقل شيوعاً ولكن الأكثر خطأً بكثير هو خلط هذه القيمة مع انتظامية توزيع النظام.

(٢١,٣,٤) كفاءة الري

إن كفاءة الري هي مقياس الأداء الذي يعد هو تركيز الجميع ما عدا المالك/المشغل. وليس الأمر أنهم لا يهتمون بكيف يمكن أن يكون هذا المقياس غير فعال لنظامهم، وإنما فقط الأمر أن من الصعب إقناعهم أن بعض كمية، أي كمية، من الري لا تكون مفيدة لمحصولهم. وتم التعبير عن كفاءة الري بشكل واضح سابقاً كما في المعادلة رقم (٥,٤) كما يلي:

$$e_i = \frac{V_b}{V_f} \qquad (٢١,٣)$$

حيث إن:

e_i = كفاءة الري.

V_b = حجم المياه التي يتم استخدامها بصورة مفيدة.

V_f = حجم المياه التي يتم توصيلها إلى الحقل.

والجانب الواقعي لهذه القيمة المحسوبة هي أنها تكون معلومة خاطئة في الغالب أكثر من كونها معلومة صحيحة. وإن لها حقاً قيمة بسيطة، ما لم يتم بذل مجهود لتحديد ما يتم تمثيله بذكر الكفاءة. وبسبب هذه المشكلات التفسيرية، فقد قامت مقاطعة ري كبيرة في كاليفورنيا ببذل مجهود كبير وبذل المال لتشكيل وترويج التعريفات الثلاثة المذكورة لاحقاً (مقاطعة مياه المستنقعات، ١٩٨٩أ).

كفاءة الري السابق على الزراعة : وهي كفاءة عملية الري السابقة على عملية الزراعة، وهي نسبة مجموع عمق المياه المستخدمة لإحلال مياه التربة (SMR) وممارسات الحراثة (CP) إلى عمق المياه المضافة (AW). وليس هناك احتواء لمتطلب الغسيل، ولكن سيكون هناك فائدة غسيل مستنتجة بوجه خاص في الجزء العلوي من قطاع التربة. ويتم حساب كفاءة الري السابق على عملية الزراعة (PIE) كما يلي :

$$PIE = \frac{SMR_1 + CP_1}{AW_1} \qquad (٢١,٤)$$

كفاءة الري الموسمي: وتعمل على تكامل كفاءة واحدة أو أكثر من عمليات الري الموسمية المنتظمة في المزرعة. وهي نسبة مجموع المياه المكونة من رطوبة التربة والمياه المستخدمة لممارسات الزراعة لكل عملية ري بعد الري السابق على الزراعة إلى مجموع المياه المضافة أثناء عمليات الري هذه. وليس هناك احتواء لمتطلبات الغسيل. ويمكن حساب كفاءة الري الموسمي (SIE) كما يلي :

$$SIE = \sum_{i=2}^{n} \frac{SMR_i + CP_i}{AWi} \qquad (٢١,٥)$$

كفاءة الري السنوي: وتستخدم لحساب كفاءة كل عمليات الري في المزرعة وهي نسبة مجموع المياه المكونة من مياه التربة والمياه المستخدمة لممارسات الزراعة لكل عمليات الري، زائد المياه اللازمة لتلبية متطلب الغسيل الموسمي (L_r)، إلى مجموع المياه المضافة أثناء كل عمليات الري، بما فيها عملية الري السابقة على الزراعة. وكفاءة الري السنوية (AIE) هي:

$$AIE = \sum_{i=1}^{n} \frac{SMR_i + CP_i + L_r}{AW_i} \qquad (٢١,٦)$$

ومن الجوانب الهامة الأخرى في حسابات كفاءة الري أن تفسير البيانات يمكن أن يصبح خطأ بسهولة بسبب العمليات الرياضية. وعندما تكون عمليات الري المبكرة في الموسم زائدة، كالعادة، وعمليات الري في أواخر الموسم لا تعيد ملء خزان التربة وعادة ما يحدث إجهاد مياه للمحصول، ومن الممكن أن تكون قيمها مضللة. وحسابياً، فإن الزائد والناقص (الإشارات السالبة والموجبة) من الممكن أن يلغيا بعضهما البعض. والمشكلة هي في النباتات وليست في علماء الرياضيات وأن عمليات الري الزائدة في بداية الموسم لا تعوض عن حالات النقص في أواخر الموسم. وهذا صحيح بوجه خاص عندما يتم استخدام البخر-نتح للمحصول ككل لحساب كمية المياه التي من المحتمل استخدامها بشكل نافع. ومن المفيد أن نفهم أنه لا عملية ري ولا سلسلة من عمليات الري تصل الكفاءة لها ١٠٠٪ في الحياة الواقعية، ولكن تكون المياه المضافة تحت ظروف الري الناقص هي ما يتم استخدامها على نحو مفيد عادةً.

ومن اللازم الحصول على بيانات كافية حول أداء الري في المزارع لتحديد كفاءة الري في مزرعة ما، وكفاءة استخدام المياه في إحدى مقاطعات المياه، أو لوضع تعبير عن الكفاءة الكلية أو استخدام المياه الزراعية. وبدون هذه البيانات وبدون الفهم الجيد لما تمثله، فإن القيم المذكورة تكون في الغالب مشكوكاً فيها، وتعد قيماً ليست موضوعية، وفي بعض الحالات، غير صحيحة ومضللة.

(٢١,٣,٥) خصائص الحقل

هناك عدد من القياسات وتقييمات الحقل التي تعد مهمة لتقييم الري بالمزرعة، من بينها:

- مرحلة نمو المحصول.
- عمق منطقة الجذور.
- سعة احتفاظ التربة بالمياه.
- وضع أو حالة مياه التربة.
- البخر-نتح للمحصول.
- أبعاد الحقل.

ويبدو أن هذه البيانات بسيطة ويسهل الحصول عليها خلال العملية الكلية لتقييم نظام الري، ولكن ما لم يتم بذل جهد مكثف من قبل من يقوم بالتقييم لتحديد كل منها، فسوف تحدث أخطاء شائعة ومؤكدة في التقييم. ولكن تأكد من أن خصائص الحقل هذه تعد ضرورية لقيمة ولتفسير أداء الري الأمثل. ومن الأعظم فائدة أن تكون هذه القيم متضمنة في تقرير التقييم النهائي. وهي لا تسمح فقط للمالك/المشغل أن يقيم ممارسات الري المستقبلية الخاصة به/بها، وإنما تمنح كذلك من يقوم بالتقييم التالي إطاراً من المرجع لأي تقييمات مستقبلية.

(٢١,٤) طرق التقييم الحقلي

ليس المقصود من هذا الفصل توفير خطوات التقييم التفصيلية التي تتطلبها كل طريقة ري. وعلى أي حال، من المهم مناقشة مفاهيم التصميم والتشغيل، ويعزو الفريد والحرج منها إلى الأنواع العامة من طرق الري. ولتسهيل هذا، فقد تم تصنيف نظم الري الكثيرة التي يتم استخدامها اليوم في ثلاثة أنواع ري رئيسية: الري السطحي، والري بالرش، والري الدقيق.

(٢١,٤,١) الري السطحي

في عـام ٢٠٠٢، تم تـسجيل نظـام الـري الـسطحي علـى أنـه الطريقـة الـتي يـتم اختيارها للري فوق سطح الأرض في الولايات المتحدة (Irrigation Journal, 1997). وفي أنحاء العالم، فمن المقدر وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة بالأمم المتحدة (الفاو) أنها الطريقة المستخدمة على ٧٣٪ من الأراضي المروية (Pallas, 1993).

وبالرغم من انتشارها الواسع، فطريقة الـري الـسطحي تواجـه أكثـر التـضاربات المحيطة بالتقييم. ففي البداية، لقد تم إعطاؤه اسم "غير فعـال" من قبـل هـؤلاء الـذين لا يفهمون بشكل تام هذه الطريقة. وثانياً، تعد خطوات تقييم هذه الطريقة مختلفة بشكل مميز عن الخطوات المستخدمة لطرق الري بالرش والري الـدقيق. وثالثاً، لقـد تم التقليـل من منزلة هذه الطريقة حتى موضع من القيمة الاقتصادية المحدودة من قبل صناعة الري بشكل عام؛ لأنه يتطلب القليل أو لا يتطلب وجود معدات على الإطلاق (ألمونيوم، أو خارصين، أو بلاستيك) ويتم القيام بتصميمها غالباً من قبل من يقوم بالممارسة (من يسوي الأرض).

ولخصائص التربة تأثير كبير على أداء الري السطحي. وغالباً ما تملي أنواع التربة التشكيل الفيزيائي للحقـل (الميل والطول) وكـذلك متطلباتهـا التـشغيلية (تكـرار ومـدة الري). وتعد هذه المكونات كلها جزءًا من خطوات التقييم القياسية. وما لم يتم اشتماله بشكل نموذجي في عملية التقييم هو انتظامية ميل الحقل وتجانس تربته. ومـن الممكـن أن تكون هذه العوامل محددة بشكل جزئي من خلال الأنشطة الـسابقة علـى التقيـيم وعـن طريق المناقشات مع المالك/المشغل.

ويعـد تقيـيم نظـم الـري الـسطحي مـستقلاً عـن الـزمن. فقيـاس معـدلات التقـدم والانسحاب للتدفقات المائية عند مواقع كافية حتى تصبح ممثلة للحقل بأكمله يمكـن أن يكون مستهلكاً للوقت، ولكن، من الضروري حيث يكون أداء نظام الـري الـسطحي مقارناً بطرق الري بالرش أو طرق الري الدقيق، وتكون عينات البيانات مقارنة كذلك.

(٢١,٤,٢) الري بالرش

إن الري بالرش (أي، الرشاشات كبيرة الحجم التي يكون لها معدلات تصرف تساوي على الأقل ٤ لتر/دقيقة) هي الطريق الأكثر دراسة، والأفضل فهماً، وأكثر نظم الري توثيقاً بين الطرق الرئيسية الثلاثة. ويعد التدفق، والضغط، والتصرف هي خصائص النظام التي يتم قياسها بسهولة وتسجيل نتائجها بسرعة. وتفسير الحاسب الآلي للبيانات قد سهل كثيراً من الجوانب في عملية جمع البيانات وتفسيرها. ومن الاهتمامات الأساسية في نظام الري بالرش انتظامية الإضافة، حيث إن الرياح من الممكن أن تشوه أنماط الرش، ولكن، هذه المشكلة بشكل عام متقطعة ويكون من المستحيل تقريباً القيام بالتصميم أو التشغيل بدون إيقاف تشغيل النظام تحت ظروف الرياح الشديدة.

وهناك كميات كبيرة من بيانات الاختبار على الخصائص التشغيلية للرشاش، والتي تعد متاحة من المصنعين ووكالات الاختبار المستقلة. وبيانات الأداء المنشورة سوف تعمل على تسهيل التخطيط السابق على التقييم والمعاونة على تفسير التقييم.

(٢١,٤,٣) الري الدقيق

هذه الطرق من الري الجديدة نسبياً (والتي تشمل الرشاشات صغيرة الحجم ذات تصرف أقل من ٤ لتر/الدقيقة، وكذلك الري بالتنقيط، والري النبعي صغير الحجم، ... إلخ.) قد تطورت بخطوات ضخمة. وقد عملت تطويراتها الأخيرة في الاستخدام على محاصيل الصفوف والتكوينات المدفونة على خلق الحاجة إلى وجود تقنيات تقييم جديدة. وتعد معظم الخطوات الحالية تعديلات ثانوية على تقنيات تقييم الري بالرش. وإن الري بالتنقيط يتم استخدامه بشكل مكثف في أعمال الزراعة الدائمة ولا تستدعي التصاميم تداخل أنماط البلل أو حتى السطح المبلل الكلي. فمعظم التصاميم تستخدم واحداً أو أكثر من المنقطات لكل شجرة.

ومن السمات التشغيلية محتملة الفائدة لنظام الري بالتنقيط هي القيام بالري يومياً، أو حتى على نحو أكثر تكراراً. وقد أدت عمليات الري كثيرة التكرار إلى زيادة

إنتاجية المحاصيل وتحسين كفاءة استخدام المياه في كثير من المحاصيل، وبوجه خاص ذات الاحتياجات المائية الكبيرة. وهذا النمط من التشغيل يتطلب القيام بعمل آلية مكثفة ونتيجة لهذا فإن كثيراً ممن يقومون بالزراعة قد اتضح أنهم يستغلون تلك المنفعة المحتملة. ولنظم الري الدقيق متطلب إضافي بالنسبة لمعلومات التقييم الدقيقة والحديثة لأن إدارتهم قد تتضمن استبدال المحاصيل واستخدام المياه يومياً للمحصول. وتتوقف الإدارة الجيدة على الحصول على فهم تام للنظام وقياس دقيق لاستهلاك المحصول اليومي من المياه والسيطرة على ردود فعل النظام.

إن نظم الري الدقيق ذات سمة حرجة للتصميم تتمثل في حجم التربة المبللة. وقد اقترحت مواصفات التصميم المبكرة أن أدنى حجم من التربة المبللة لا يقل عن ٣٣٪ عن الحجم الكلي لمنطقة الجذور (Keller and Karmeli, 1975). وقد أظهرت الممارسة والتجربة أن أفضل حجم مبلل للتصميم هو ٥٠٪، ومع الإدارة الجيدة (التشغيل اليومي)، فإن ٦٠٪ إلى ٨٠٪ من حجم التربة المبتلة يعد واقعياً. وإن النسبة المئوية للحجم المبلل، كما هو مذكور هنا، هي نسبة الحجم الكلي لمنطقة الجذور (بالنسبة لمحاصيل الصفوف والمحاصيل المعمرة) التي تتبلل بالري.

(٢١,٥) الاقتصاديات

هناك حاجة لبعض المكافآت المالية أو العائد الاقتصادي للتأثير على التغيرات في أي مشروع تجاري، وهذا ينطبق بشكل صحيح على الحفاظ على المياه من خلال الإنتاج الزراعي، ويصبح هذا المفهوم واقعياً وواضحاً، في كثير من الحالات، فليس للحفاظ على المياه فائدة ملموسة للمالك/المشغل الذي يتعامل مع المياه. وفي معظم الحالات، من المعتقد أن بعض القصور في الكفاءة ينتج من سياسة تأمين المالك/المشغل لهذه الفترات من الجفاف والموارد المائية المحدودة. وهناك خيط من القواسم المشتركة في هذا الاعتقاد مع تعليمات قانون المياه "استخدمها قبل أن تفقدها".

إن طريقة معالجة هذه القضية هي من خلال إنشاء اقتصاديات تحسين إدارة المياه. وفي تقييم أداء نظام الري، فإن التكاليف التشغيلية وتكاليف نظام المعدات المستخدمة هي، في الحقيقة، المنطقتان الوحيدتان اللتان لهما فرصة في تطوير تكاليف النظام. وإن الفوائد الحقيقية والملموسة لتقييمات النظام ترتبط بكمية وجودة إنتاج المحصول. ولابد من ترجمة تحسين أداء الري إلى زيادة كمية و/أو جودة إنتاج المحصول. وللقيام بدقة بقياس هذه الفوائد فإن هذا لا يقع بصورة عامة داخل نطاق تقييم نظام ري المزرعة. ولكن، لابد من مناقشتها من قبل من يقوم بالتقييم مع المالك/المشغل عند اللزوم.

(٢١,٥,١) التكاليف التشغيلية

يتم حساب التكاليف التشغيلية على أفضل نحو في الفترة السابقة على التقييم. وبشكل نمطي، تعد هذه التكاليف التشغيلية هي المياه، والطاقة، والعمالة (والتي تشمل الإدارة)، والممارسات الزراعية (الأسمدة والمخصبات)، ومكافحة الآفات والأمراض.

ولابد أن تعكس تكلفة المياه أعلى معدل، وبوجه خاص عندما يتم استخدام التسعير. وعند استخدام المياه الجوفية، لابد من احتواء تكلفة البئر وصيانته وتكلفة التطوير. ولابد أن تحتوي تكاليف الطاقة على المضخة وكفاءة المحرك وكذلك تشغيل المحطة وتكاليف الصيانة. وعندما يكون هذا خارج نطاق التقييم فيتم تحديد هذه المعلومات، فمن المعقول تخصيص قيمة وتسجيلها كقيم مخصصة أو مقدرة. وليس من المفروض أن تصبح مشكلة طالما أن المالك/المشغل يدرك أن هناك مبالغ مخصصة لها.

ويعد قياس تكلفة العمالة تحدياً أكبر بكثير. وتكلفة العمالة عالية المهارة أكبر من تكلفة العمالة الأقل مهارة، والتغير في تكلفة العمالة من الممكن أن يعكس تغييرات في العمالة. وما هو ضروري لمن يقوم بالتقييم أن يدرك أن معظم عمليات الزراعة تكون مدفوعة بدرجة كبيرة للاقتصاد في العمالة وسوف يكون المشغل سعيداً بالقيام بالاستخدام الاقتصادي للمياه، إذا كان لديه مياه، للعمل على توفير العمالة.

(٢١,٥,٢) تكاليف النظام

يتم ترجمة تكاليف النظام في الأساس إلى تكاليف المعدات المستخدمة، أي، إعداد نظام الرش، أو قطع طول الخط إلى النصف عن طريق شراء/تأجير أنابيب معزولة إضافية. وعند اقتراح نظم بديلة أو تغييرات في النظام، فلابد من تحديد التكلفة الكلية والمنطقية. والعنصر الحرج في تطوير هذه التكاليف يكون من خلال التأكد أن التقييم يتم بشكل عملي وواقعي. وإذا بدا أن عنصراً واحداً من عناصر تقدير التكلفة غير واقعي أو أحد مكونات التغير المقترح مثل العمالة، فإن من يقوم بالزراعة سوف يتجاهل التغيير المقترح.

(٢١,٦) التحليل والتفسير

نفس القدر من الأهمية لجمع المعلومات الهامة هو القيام بتحليلها وتفسيرها، وهذا يعود إلى "من لمن؟" المعايير المذكورة سابقاً. وإذا كان يقوم المالك/المشغل بتعيين خبير استشاري أو بالاتصال رسمياً بمركز خدمة مستقل (NRCS أو أي أفرع تعاونية) للقيام بالتقييم، يكون لهذا السؤال مغزى أقل. ولكن، عندما يوجد طرف ثالث يسدد تكلفة هذه الخدمة، أو وكالة تقوم بالتفتيش على الحقول لتقييمها، يصبح للسؤال "من لمن؟" معنى أكبر.

وإن الخطوة الأولى هي تحديد ما إذا كان هذا سوف يكون تقييماً لأداء رية واحدة أو أداء موسمياً. ومن الأكثر قيمة أن يتم التقييم للأداء الموسمي للنظام وأن يتم تقييم النظام على الأقل مرتين في نفس الموسم. ومن الممكن حينها تطوير ميزانية مياه موسمية. وهذا هام بوجه خاص في النظام كبير الحجم منخفض التكرار (الري السطحي أو بالرش). وإذا كان النظام صغير الحجم كثير التكرار (الري الدقيق)، فربما يكفي القيام بتقييم واحد. وهذه النظم الأخيرة لا تعتمد على أنواع التربة، وعن طريق معرفة التالي، فمن الممكن حساب تقييم الأداء الموسمي بدرجة معقولة:

- الاستهلاك الموسمي للمحصول من المياه.
- انتظامية التوزيع.
- الأمطار الموسمية الفعالة.
- ساعات التشغيل الكلية (الموسم).
- معدل الإضافة.

ولتقدير الأداء الموسمي من التقييم المفرد لنظام الري السطحي أو الري بالرش فإن هذا يتطلب بعض البيانات التشغيلية والتي لا يمتلكها في العادة المالك/المشغل أو التي لا تكون متاحة بصورة روتينية. وهذه المعلومات هي حالة مياه التربة، قبل وبعد كل عملية ري عبر الموسم، من بينها المحتوى المائي الابتدائي بالتربة، وأي عمليات ري سابقة على الزراعة. وبدون فهم آثار الري على خزان منطقة الجذور، فإن هذه الكفاءة الموسمية لأي نظام ري يكون من الصعب تقييمها. ومع النظم كبيرة الحجم منخفضة التكرار، من الممكن أن يكون الخطأ كبيراً، وبوجه خاص حيثما تتغير خصائص امتصاص التربة أثناء الموسم. ومن الشائع أن تكون عمليات الري الأولى في بداية الموسم زائدة وفي نهاية الموسم ناقصة. وإذا ما حدث إجهاد للمحصول في أي وقت، فإن هذا سوف يبطل صحة التقييم. والآثار المتراكمة بسهولة يساء تفسيرها على أنها فعالة، أو، إذا كان يتم تقييم حدث واحد فقط، فإنه لا يكون ممثلاً للتقييم.

وبالعكس، لابد من فهم أن الإجهاد المائي للمحصول الذي يدار بشكل جيد من الممكن أن يكون هاماً للهدف الخاص بمن يقوم بالزراعة. فعلى سبيل المثال، يعد الري الناقص قيماً جداً لزراعة الكروم ولجودة العنب، ويلعب كذلك دوراً هاماً في تحقيق أعلى إنتاجية لمحصول القطن. وفي حالة بعض الحبوب الصغيرة، فإن إجهاد مياه المحصول أثناء استطالة السيقان السريعة من الممكن أن يقلل من طول الساق ويقلل من تخزين المياه بدون فقد في الإنتاجية أو الجودة.

ومن الممكن أن تتعهد مقاطعات المياه ببذل جهد لتقييم عمليات الري عبر أنحاء المقاطعة أثناء موسم الري، ومن خلال الجمع العشوائي لعينات الري، تقوم بتطوير

صحة التمثيل. ولكن لابد من اتخاذ الحيطة في كيفية اختيار المتعاونين. فلقد كان هناك عدد من الحالات حيث تم اختيار المشاركين بأسبقية الحضور، وعلى أساس بعدهم عن المقاطعة. ومن الممكن أن يوضح التقييم المتعجل لهؤلاء المشاركين أنهم كانوا متقدمين على المالك/المشغل في المقاطعة. وقد أدركت مقاطعة الري هذه الزلات المحتملة وقامت ببذل جهدها لتقييم نظم بعض المالكين، ومن يقومون بالتشغيل الذين يعيرون أعمال الري الخاصة بهم قليلاً من الاهتمام.

(٢١,٧) المختبرات المتنقلة

لقد تطور مفهوم المختبرات المتنقلة في كاليفورنيا بسبب بعض سماتها القيمة. فهذه المعامل أو فرق تقييم النظام بدأت العمل عام ١٩٨٥ من خلال المجهود التعاوني من قبل هيئة المحافظة على المياه بكاليفورنيا وهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية NRCS ووزارة الزراعة بالولايات المتحدة USDA. وقد تم توفير الدعم التقني من قبل الباحثين في جامعة ولاية كاليفورنيا في سان لويس أوبيسبو (كال بولي). وقد كان البرنامج مفيداً في تطوير وقياس خطوات اختبار الحقل لإجراء التقييمات الحقلية لنظم الري في المزارع. وقد أظهر منهج المختبر المتنقل بفاعلية للإنتاج الزراعي والموارد المائية والصناعة قيمة البيانات الدقيقة والمفصلة لأداء نظام الري. وقبل تقييم استخدام المياه في المزرعة، قامت مقاطعة مياه المستنقعات بإعداد حالة ظهر أن كفاءة الري فيها قد بلغت ٨٠٪. وبعد جمع البيانات لأكثر من ٣٥٥ حقل عبر موسمين للري، وتم حساب كفاءتهما وقد بلغت ٧٧٪ وكانت هذه من أكثر المقاطعات تقدماً في كفاءة الري (مقاطعة مياه المستنقعات، ١٩٨٩ب).

وكانت هناك العديد من الانتقادات التي تم توجيهها إلى برنامج المختبر المتنقل. وحيث إن المختبر المتنقل يقدم خدماته لمن يقومون بالزراعة مجاناً، فإن هذا يميل إلى تقليل قيمة المفهوم. ويعمل المختبر المتنقل كذلك على توظيف الطلبة في فصل الصيف

والمتخرجين الحديثين من الجامعة للقيام بالعمل في الحقول. ويعمل هذا على خلق موقف حيث يكون الشخص فيه المتمتع بخبرة ري عملية بسيطة هو الذي يقوم بتقييم نظام يقوم بتشغيله شخص يتمتع بخبرة كبيرة. ومن يقوم بالتقييم سوف يكون موجوداً في الحقل بناء على طلب المال، وإذا كان من يقوم بالتقييم سيعود لإعادة الاختبار لهذا النظام أو ذاك، فمن الأفضل ألا يتم توجيه النقد له. والتقييمات المطورة في هذه الحالات نادراً ما تنبه على المشكلات الإدارية بشكل تام.

(٢١,٨) الخطوط العريضة للتقييم

(٢١,٨,١) إجراء مقابلة مع من يقوم بالزراعة قبل القيام بالتقييم

لابد من جمع البيانات التالية أثناء مقابلة مع من يقوم بالزراعة قبل تقييم الحقل:

• المعلومات التشغيلية: كيف تتم جدولة للري؟ ما هو الهدف من عملية الري؟ ما هو برنامج التسميد؟ ما هو نمط زراعة المحاصيل المستخدم، تاريخه والخطط المستقبلية له؟ ما هو وضع القوة العاملة؟ هل هناك أي معلومات حديثة عن ملوحة التربة أو جودة مياه الري؟.

• البيانات الفيزيائية للحقل، ومنها الخريطة التي توضح مصدر المياه وأبعاد الحقل، تباعد الخطوط/الصفوف (في حالة الري بالخطوط)، وميل الحقل، والبيانات التي تدور حول خصائص النظام (المضخات، المرشحات، ... إلخ.).

• المعلومات عن المحاصيل، ومن بينها موعد ظهور النباتات المزروعة، وموعد الحصاد أو الانتهاء من العمل، وعمق منطقة الجذور (الفعلي أو المحدث)، والبخر-نتح السنوي المقدر للمحصول.

• المعلومات الاقتصادية، ومن بينها تكلفة المياه، والطاقة، والعمالة (ومن بينها الإدارة).

(٢١,٨,٢) جمع بيانات الحقل

كل نوع من أنواع النظم لابد أن يكون له سجل البيانات الخاص به. وتلك تعد متاحة من كتيبات أو إرشادات الاستخدام. وهذه السجلات لابد أن تحتوي على التاريخ، وأوقات الابتداء والانتهاء، واسم من يقوم بالتقييم، والأحوال الجوية. ولابد أن تُلحق خريطة الحقل بسجل البيانات ومن الملاحظ أنها تعكس أين يتم أخذ القراءات والتقييمات في الحقل (Merriam and Keller, 1978; Burt and Lehmkuhl, 1991).

(٢١,٨,٣) التقرير

لابد أن يشتمل التقرير على الأقل على جزء متعلق بخطوات العمل، وجزء للنتائج، وجزء للتوصيات. ولابد أن يشتمل جزء النتائج على تقرير موجز إلى جانب نسخة من بيانات الحقل الواقعية. وكحد أدنى، لابد أن يقوم التقرير بتسجيل خصائص الحقل التالية وكيف يتم تحديدها: المحصول، وعمق منطقة الجذور، وسعة احتجاز المياه في التربة، والمحتوى المائي في التربة (البدء والانتهاء)، والبخر-نتح للمحصول حتى تاريخ وضع التقرير. وهو يشمل كذلك المقاييس التالية للأداء: معدل الإضافة، وانتظامية التوزيع، وكفاءة الإضافة، وكفاءة الري.

(٢١,٩) الاستنتاجات

يتطلب التقييم الذي يتم القيام به بمهارة لتقييم أداء نظام الري في المزرعة أكثر من مجرد القياس البسيط للأداء الهيدروليكي للنظام. وهو يتطلب تقييم النظام بأكمله ومن بينه النظم الزراعية والاجتماعية التي تؤثر على التشغيل. ولابد من القيام بالتقييم إما من قبل محترف كفء وخبرة أو من فرد يقوم بالتشغيل تحت إشراف محترف خبير. وليس هناك نظام للري لن يقوم التقييم بتقديم تقييم شامل وتام له أو تحديد واحد أو أكثر من الفرص لتحسين النظام أو أدائه. ولكن، هذه التحسينات التي لها نتائج بسيطة أو ليس لها نتائج للمالك/المشغل إذا كانت تهتم فقط بالهيدروليكا وأداء النظام ولا

يشمل تأثير التحسينات الرئيسية لأداء الري سوف يكون لها عائدات على أداء المحصول وعائدات اقتصادية حقيقية. إن الفاعلية التي يتم بها عرض هذه الفرص لمالك/المشغل سوف تقوم بتحديد مقدار قيمة التقييم لهم.

المراجع

Burt, C. M., A. J. Clemmens, T. S. Strelkoff, K. H. Solomon, R. D. Bliesner, L. A. Hardy, T. A. Howell, and D. E. Eisenhauer. 1997 Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. J. Irrig. Drain. Eng. 123(6): 423-442.

Burt, C. M., and K. Katen. 1988. Westside Resource Conservation District 1986/87 Water Conservation and Drainage Reduction Program. San Luis Obispo, Calif.: Cal Poly.

Burt, C. M., and M. Lehmkuhl. 1991. Irrigation System Evaluation Manual. San Luis Obispo, Calif.: Cal Poly.

FWR (Department of Water Resources). July 1996. Special 16th Anniversary Edition: Water Conservation: Yesterday, Today, and Tomorrow. Sacramento, Calif.: Water Conservation News.

Irrigation Journal. 1997. 1996 Annual irrigation survey reveals growth throughout country. Irrigation J. Jan./Feb.: 27-42.

Keller, J., and D. Karmeli. 1975. Trickle Irrigation Design. Glendora, Calif.

Merriam, J. L., and J. Keller. 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A guide for Management. 3rd ed. Logan, Utah: Utah State Univ.

Merriam, J. L., M. N. Shearer, and C. M. Burt. 1983. Evaluating irrigation systems and practices. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 721-760. M. E. Jensen, ed, S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Pallas, P 1993. Water and sustainable agricultural development: The role of planning and design of irrigation systems. In Proc. Trans. 15th Congr. Int'l Comm. on Irrig. and Drain., IJ: 53-71. The Hague, Netherlands: ICID.

Small, L. E., and M. Svendsen. 1992. A Framework for Assessing Irrigation Performance. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.

Westlands Water District. 1989a. Water Conservation and Drainage Reduction Programs 1987-1988. Fresno, Calif.: Westlands Water District.

Westlands Water District. 1989b. Summary Water Conservation and Drainage Reduction Programs 1987-1988. Fresno, Calif.: Westlands Water District.

الملحق أ

مسرد المصطلحات

إ. قوردون كروز (USDA-ARS، فورت كوليتز، كلورادو)
رونالد ل. إيليوت (جامعة ولاية أوكلاهوما، ستيلووتر، أوكلاهوما)

مرحلة التقدم: الفترة أثناء عملية الري السطحي التي يتحرك فيها الماء فوق الحقل من بدء التدفق. وعادة، ينتهي التقدم عندما تصل جبهة تيار المياه بحدود الحقل.

زمن التقدم: الزمن المطلوب لتحرك تيار مائي ما من مياه الري من الطرف العلوي للحقل إلى الطرف السفلي.

التضبيب: تحول المياه إلى ضباب أو قطرات صغيرة، المنطلقة من أجهزة الرش، أو الرشاشات، أو التي تجرفها الرياح فوق أسطح المياه الحرة، والتي تكون معلقة في الهواء. وأي تلوث في مصدر المياه من الممكن أن ينتقل مع جرف الضباب للهواء.

قوانين التشابه: ثلاث معادلات تربط بين كيفية اختلاف معدل تصرف المضخة، والضغط، وطاقة المدخل مع التغير في سرعة المضخة، وهي مفيدة للقيام بتقدير التغير في أداء المضخة مع التغيرات الصغيرة في السرعة.

شبكات الأرصاد الزراعية: مجموعة من محطات الأرصاد الجوية تقيس درجات الحرارة، والرطوبة، والرياح، والإشعاع الشمسي، والظواهر المناخية الأخرى. وتقوم

كل محطة بتسجيل أو إرسال القيم التي يتم تسجيلها إلى موقع مركزي، ربما وكالة في الولاية أو مقاطعة مياه. ومن الشائع أن يتم معالجة البيانات (يتم تجميعها، وأخذ المتوسط لها، والتحقق من وجود خطأ بها) قبل أن يتم جعلها متاحة أمام المستخدمين للقيام بجدولة الري والأغراض الأخرى.

الكيماويات الزراعية: مجموعة واسعة من المنتجات لتحسين الإنتاج الزراعي وتشمل الأسمدة الزراعية، ومبيدات الآفات، ومحسنات التربة، ... إلخ.

التدفق العكسي الهوائي: الحركة الرأسية للهواء من خلال التربة أثناء تدفق المياه لأسفل (التسرب العميق).

الصرف الهوائي: (التربة) تجديد هواء التربة من خلال الانتشار.

الاحتباس الهوائي: حالة للتربة تمنع حدوث التشبع التام لمسام التربة بالمياه، لأن الغازات التي توجد في التربة ليس لها طريق للهروب.

مضخة رفع الهواء: مضخة، يتم استخدامها أساساً في الآبار، تقوم بإدخال الهواء تحت الضغط في المياه التي توجد في قاع البئر. ويعمل هذا على تقليل الجاذبية النوعية لخليط المياه-الهواء، والتي يسببها الضغط المحيط بها، والمياه الأعلى كثافة، التي تعمل على رفع المياه إلى المخرج (مقتبس من ICID MTD, 1996).

صمام التنفيس الهوائي: (١) جهاز، يتم تركيبه بشكل شائع عند النقاط العالية من خط أنابيب المياه، ويسمح بهروب الهواء من الخط أثناء امتلائه بالمياه، وبالتالي يعمل على إزالة التقييد في تدفق المياه. (٢) جهاز يتم تركيبه على جانب الضغط العالي من مضخة الحقن الكيميائي، وعلى المنبع مباشرة عند صمام الحقن الذي يوجد على خط الحقن الكيميائي، لإطلاق الهواء المضغوط المحاصر الذي ربما يؤثر لولا هذا على معدل الحقن المعاير أو يتسبب في تصريف المواد الكيميائية على العاملين الذين يخدمون النظام.

ضاغط دخول الهواء: الضغط السلبي الذي يجب أن يتم تجاوزه للعمل على دخول الهواء إلى التربة المشبعة.

معامل الانعكاس: نسبة الإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس من سطح التربة ومن سطح المحاصيل إلى كمية الإشعاع الساقط عليهما. وعملياً، تطبق القيمة في الأساس على الإشعاع الشمسي (ASCE, 1990).

الصمام البرسيمي: صمام مخرج ملحق ببداية رافعة خط أنابيب ري سطحي، يكون له فتحة تساوي القطر الداخلي للأنبوب الرافع ويتم تغطيته للتحكم في تدفق المياه. ويتم تشكيل المحيط الخارجي لإطار الصمام لتوفير مقعد وسد محكم للصنبور المتنقل، الذي من الممكن أن يُلحق للعمل على توجيه المياه إلى داخل خط الأنابيب الذي يوجد فوق سطح الأرض.

التربة القلوية: انظر التربة الصودية.

ري الوضع البديل: أسلوب لإدارة الري حيث يتم، عند كل رية أخرى، ري أوضاع بديلة من الخطوط، أو يتم وضع الرشاشات في منتصف المسافة بين مواقع الخطوط أثناء عملية الري السابقة.

ري الجانب البديل: القيام بالري بالخطوط على جانب واحد من صفوف المحصول (في حالة ري محاصيل الصفوف أو بساتين الفاكهة) ثم، عند نصف وقت الري تقريباً، يتم ري الجانب الآخر. وعندما يتم استخدام هذه الطريقة مع إدارة الري بالتنقيط الناقص، فإن هذه الممارسة يُشار إليها بتجفيف جزئي لمنطقة الجذور.

التربة متباينة الخواص: التربة التي تختلف خواصها في اتجاه القياس، وخاصة التربة التي لها نفاذية مختلفة في اتجاهات القياس المختلفة.

كفاءة الري السنوية: نسبة تعويض مياه التربة، بالإضافة إلى المياه المستخدمة للممارسات الزراعية لكل الريات، بالإضافة إلى المياه المستخدمة لتلبية الاحتياجات الغسيلية الموسمية، إلى المياه الكلية المضافة خلال كل عمليات الري، ومن بينها الري السابق على الزراعة.

كفاءة الإضافة: نسبة العمق المتوسط لمياه الري المتسربة والمخزونة في منطقة الجذور إلى العمق المتوسط لمياه الري المضافة، ويتم التعبير عنها بنسبة مئوية.

معدل الإضافة: المعدل الذي تُضاف به المياه إلى منطقة ما، والتي يتم التعبير عنها عادة بوحدات من العمق في الزمن المناسب.

التكتل الصخري: تكوين جيولوجي يوجد تحت سطح الأرض والذي لا ينتج ولا يسمح بمرور كمية تُذكر من المياه، بالرغم من أنه من الممكن أن يتشبع هو بالمياه.

طبقة المياه الجوفية: تكوين جيولوجي يقوم بالاحتفاظ بكميات من المياه والتي يمكن استغلالها. ومن الممكن أن يتم تصنيف طبقات المياه الجوفية بالمقيدة (وهي الطبقة الصخرية المائية التي من الممكن أن تكون حافتها العلوية، وربما السفلية، محددة بطبقة من المادة الطبيعية التي لا تنقل المياه بسهولة) أو غير المقيدة (التي ليس بها مثل هذا التحديد).

الطبقة الصخرية المؤخرة: تكوين جيولوجي يوجد تحت الأرض يعمل بشكل بسيط على إنفاذ المياه ويؤدي إلى كميات قليلة منها مقارنة بالطبقة الصخرية المائية (طبقات المياه الجوفية).

المناخ الجاف: مناخ يمتاز بقلة تساقط الأمطار وارتفاع البخر. وتعتبر عادة منطقة ما على أنها جافة عندما يكون متوسط سقوط الأمطار بها أقل من ٢٥٠ مم (١٠ بوصة) في العام.

الطبقة الحاملة للمياه الارتوازية: طبقة حاملة للمياه تحتوي على المياه تحت الضغط نتيجة للضاغط الهيدروستاتيكي. ولكي توجد الحالة الارتوازية، يجب أن يعلو الطبقة الحاملة للمياه مادة حاجزة أو صخرية ولا يصلها تغذية من المياه، ويكون سطح المياه الحر عند ارتفاع أعلى من قمة الطبقة الحاجزة العليا.

النسبة المئوية بالغلاف الجوي: انظر النسبة المئوية في ثلث الغلاف الجوي.

مفتت البخار الجوي: صمام يُفتح تلقائياً، ويتسبب في دخول الهواء إلى خط الأنابيب وتوقف الطرد العكسي الحادث في مصدر المياه، عند حدوث ضغط عكسي أو متدرج والذي من الممكن أن يتسبب في التدفق العكسي من جهة جانب الطرد إلى جانب السحب أو المصدر. انظر أيضاً مفتت ضغط البخار.

الماء المتاح في التربة: جزء من الماء في التربة التي يمكن امتصاصها بسهولة من قبل جذور النباتات، وهو كمية المياه بين حدي السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم.

مضخة التدفق المحوري: مضخة دوارة تقوم بتطوير الضاغط في الغالب من خلال الدفع أو الرفع لريش الدوران في المياه، والتي يشاع الإشارة إليها بالمضخة المروحية.

جهاز منع التدفق العكسي: جهاز آمن يمنع تدفق المياه من نظام توزيع المياه للخلف نحو مصدر المياه.

الطرد العكسي: تدفق السائل في الاتجاه المضاد لحالة التدفق الطبيعي. والتي يتسبب فيها انعكاس انحدار الضغط الطبيعي. وفي نظم الري الكيميائي، من الممكن أن يعمل الطرد العكسي على التسبب في حدوث تلوث مصادر مياه الري.

تجمع (المغذيات): إضافة النيترات في الشرائح الضيقة الموازية لصفوف المحصول. ويعمل تحديد الموقع الصحيح لأماكن وضع النيترات، بالنسبة للمحصول، على تقليل الغسيل عن طريق الري وتقليل كمية السماد اللازمة.

معدل التسرب الأساسي: المعدل الذي تتسرب به المياه في التربة بعد أن يقل التسرب من معدل أولي عال إلى قيمة ثابتة تقريباً.

حوض الخطوط: انظر القاع في الأحواض.

الري بالأحواض: الري باستخدام الغمر في مناطق من الأرض المستوية المحاطة بالحواجز، ويتم استخدامها بالتبادل مع الري بالشرائح المستوية، ولكنها تشير في العادة إلى مساحات صغيرة.

حرث الحوض: الحرث المخصص لإنشاء سلسلة من مستجمعات المياه الصغيرة بين صفوف المحصول لحجز المياه تحت المحاور المركزية ونظم الري بالحركة الجانبية. وغالباً ما يكون الحرث مطلوباً أسفل الجسور البعيدة من نظم المحور المركزي LEPA حيث تتجاوز معدلات الإضافة معدلات التسرب. وتُسمى كذلك بحرث الخزان.

القاع (إعداد القاع): (١) إعداد الخطوط التي يتم ريها، والحقل الذي يتم زراعته بالصفوف باستخدام الجسور العريضة المسطحة بين الخطوط ويتم عليها زراعة واحد أو

أكثر من صفوف المحصول. (٢) عملية وضع أنبوب أو قناة أخرى في الخندق مع تشكيل القاع على الخط الكنتوري للأنبوب، مع دك الردم من الأرض حول الأنبوب لتكوين القاع الذي تستند عليه.

القاع في الأحواض: الجسور على الحوض المستوي الذي يتم فيه زرع المحصول. وأثناء الري، يبقى سطح المياه في القنوات بين الجسور أسفل سطح الجسر. وتسمى القنوات بخطوط المستوى الميت أو خطوط الحوض.

مسيلات المصطبة: قناة توصيل مياه يتم بناؤها على المصاطب المنشأة على امتداد طول التلال أو حول منحدرات الجبال عندما تكون الأرض غير مستوية أو منحدرة أو صخرية بدرجة شديدة لا تسمح بالقيام بحفر القناة.

الاستخدام المفيد للمياه: استخدام المياه الذي يؤدي إلى مكسب كبير أو فائدة ملموسة للمستخدم، بما يتوافق مع قوانين الولاية، والتي تختلف من ولاية إلى أخرى. ويشمل الاستخدام المفيد تعويض النقص في المياه في التربة وغسيل الأملاح من منطقة الجذور.

المسطاح: شريط أو مساحة من الأرض، والتي عادة ما تكون مستوية، بين حافة الجسر وحافة الخندق أو القناة.

أفضل ممارسة إدارة (BMP): أي من التقنيات الإدارية، والهيكلية، وغير الهيكلية، المعترف بها والتي يتم تنظيمها لتكون الوسائل الأكثر فاعلية وممارسة لتقليل تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية وفي نفس الوقت تسمح بالاستخدام المنتج للموارد.

التجميع الحيوي: محصول قادر على التنقية الحيوية.

التنقية الحيوية: زراعة نباتات معينة لديها القدرة على تجميع كميات كبيرة من المكونات غير المرغوبة (مثل، السيلينيوم، والنيترات، والبورون، والموليبدنيوم) من مياه التربة. وبالتالي يتم إزالة المكونات الملوثة عند الحصاد مع التخلص من المادة المحصودة. وتعد هذه الممارسة الإدارية أكثر جاذبية حيث يكون التخلص من مياه الصرف اهتماماً بيئياً، أو أن يكون التجميع الحيوي قيمة اقتصادية، أو عندما تكون عمليات المعالجة الأخرى غير متاحة أو مكلفة للغاية.

مطلب الأكسجين الحيوي (BOD): كمية الأكسجين المذابة المطلوبة لتلبية احتياجات التمثيل الغذائي (التأيض) للكائنات الدقيقة التي تحلل المواد العضوية الكربونية في عينة المياه.

التربة القلوية السوداء: تربة لها مستوى أيون هيدروجين pH عال وكيمياء تهيمن عليها مادة كربونات الصوديوم، ومن الممكن أن تترسب المادة العضوية الذائبة على سطح التربة عندما تتبخر مياه التربة، مما يؤدي إلى حدوث اللون الأسود. (المصطلح المفضل هو التربة الصودية المالحة).

المياه السوداء: المياه التي تحتوي على الفضلات الآدمية السائلة والصلبة.

المضخة المساعدة: مضخة، في خط أنابيب، تستخدم لزيادة ضغط المائع. وفي رشاشات المحور المركزي من الممكن أن يتم وضعها قرب نهاية الخط الفرعي للعمل على توفير ضغط كاف لضاغط الرشاش كبير الحجم (المدفعي الطرفي).

بتن الشريحة: سلسلة من التلال الأرضية أو الحواجز الصغير يتم بناؤه للإرشاد إلى أو الاحتفاظ بمياه الري أو إعادة تصريف المياه إلى داخل الحقل.

الترعة الحدودية: قناة محفورة صغيرة للري، وتقوم بشكل نموذجي بالجريان لأسفل المنحدر عند حدود الشريط المروي أو قطعة الأرض المروية. وتتسبب السدود المؤقتة في القناة في أن يتم نشر المياه من أحد أو من كلا الجانبين على الأرض التي يتم ريها.

الري بالشرائح: الري باستخدام غمر المياه لقطعة من الأرض مستطيلة الشكل ومستوية السطح وتحدها حواجز. ويتم إضافة المياه بمعدل يكفي لتحركها لأسفل الشريحة في شكل صفيحة مائية منتظمة، والشرائح التي ليس لها ميل لأسفل الحقل يُشار إليها بنظم الشرائح المستوية. ويمكن إنشاء نظام الشرائح على أراضي المدرجات شبه المستوية والتي يشار إليها بشكل شائع باسم شرائح المصطبات.

الري بالنوابع (الفوار - النافوري - الفقاعي): إضافة المياه لتفيض على سطح التربة باستخدام ضغط منخفض، أو تيار مائي صغير، أو نافورة مياه، وتعد معدلات

التصرف لنوابع التدفق مفردة المصدر أكبر من المنقطات بالتنقيط أو تحت السطحية ولكنها تكون بشكل عام أقل من ٢٢٥ لتر/ساعة (١ جالون/دقيقة). وغالباً ما يكون مطلوباً حوض صغير لاحتواء أو للتحكم في المياه.

الكثافة الظاهرية: (التربة) كتلة من التربة الجافة لكل وحدة حجم ظاهري. والحجم الظاهري يتم حسابه قبل أن تجف التربة لكتلة ثابتة عند ١٠٦ درجة مئوية (٢٢٠ درجة فهرنهايت).

الري بالكابل: أسلوب ري سطحي يتم فيه إضافة التدفق الذي يقل بالتدريج إلى كل خط من مجموعة ما، عن طريق استخدام كابل لسحب السدادة عبر أنبوب به فتحات.

تأثير الحاجز الشعري: تقييد الحركة لأسفل لمياه التربة، والتي يتسبب فيها وجود طبقة التربة ناعمة القوام التي تعلو طبقة التربة الأكثر خشونة.

الهامش الشعري: منطقة في التربة توجد تماماً فوق منسوب الماء الأرضي والتي تظل مشبعة أو مشبعة تقريباً، ويعتمد المدى الرأسي للتشبع على توزيع حجم المسام.

ضاغط الضغط الشعري (الارتفاع الشعري): الارتفاع الذي ترتفع إليه المياه عن طريق التوتر السطحي فوق سطح المياه الحر في التربة.

التوتر الشعري (الامتصاص الشعري): الضغط السالب الذي يوجد عندما يكون التصاق جزيئات السائل بجزيئات التربة أقوى من قوى التماسك بين الجزيئات. وهذه الحالة تتسبب في ارتفاع المياه فوق المنطقة المشبعة، مما يخلق الهامش الشعري. والارتفاع الذي ستصل إليه المياه عن طريق العمل الشعري يكون محدوداً بالتوتر السطحي وبتوزيع جزيئات مسام التربة.

المنطقة الشعرية: انظر الهامش الشعري.

غطاء أنبوب الرفع: خط أنابيب لرفع مياه الري لتمتد إلى فوق سطح الأرض، مع غطاء عازل للمياه فوق أعلاها وبوابات مخرج على جانبيها توجد أعلى بقليل من سطح الأرض. وللعمل على استيعاب مزيد من بوابات الخروج، فإن غطاء بقطر أكبر من أنبوب الرفع يتم تركيبه أحياناً في أعلى أنبوب الرفع وتُعرف عندئذ بالوعاء المغطى.

منطقة مستجمعات المياه: المنطقة التي منها تتسلم المياه التي تنشأ عن سقوط الأمطار وتجمعها إلى بحيرة، أو مجرى مائي، أو خزان المياه السطحية (من ICID MTD, 1996).

مضخة الطرد المركزي: مضخة تتكون من ريش دوارة (مروحة) والتي تكون داخل غلاف وتُستخدم لنقل الطاقة إلى المائع من خلال قوة الطرد المركزي.

فاصل الطرد المركزي: جهاز إزالة الجزيئات الصلبة من المياه، كما يتم استخدامه مع الري الدقيق، من خلال التسبب في دوران المياه داخل غرفة (دائرة) مغلقة، ويتم إجبار المواد الصلبة الأكثر كثافة على التراكم عند حدود الغرفة حيث يصبح من الممكن طرحها بعيداً.

الري بالحواجز: تعديل على الشرائح باستخدام الجسور الأرضية الصغيرة أو الحواجز، التي شيدت على فترات، للاحتفاظ بالمياه أثناء تدفقها لأسفل الشريحة.

الحجز: (١) اسم. بناء للتحكم في عمق المياه في القناة، أو الخندق، أو الحقل المروي. (٢) فعل. للتحكم في عمق المياه عن طريق استخدام أحد الأجهزة لإعاقة تدفق المياه.

مطلب الأكسجين الكيميائي (COD): مقياس كمي لكمية الأكسجين اللازمة للتأكسد الكيميائي للمواد الكربونية العضوية، كمؤشر لجودة المياه.

الري الكيميائي: إضافة الكيماويات إلى المحاصيل من خلال نظام الري عن طريق خلطها بمياه الري.

معامل الانتظامية لكريستيانسن: مقياس لانتظامية إضافة مياه الري، ويعرف بأنه متوسط عمق مياه الري المتسربة ناقص متوسط الانحراف المطلق من هذا العمق، مع قسمة الكل على متوسط العمق المتسرب.

طبقة الطمي: طبقة مكثفة ومنضغطة في طبقات التربة السفلية التي لها محتوى طمي أعلى من الطبقة العلوية، التي يفصلها حد فاصل محدد بوضوح. وتكون طبقات الطمي في الغالب صلبة عندما تكون جافة، وبلاستيكية ولزجة عندما تكون مبللة، وتعمل في العادة على إعاقة حركة المياه والهواء، ونمو جذور النبات.

الغرويات: جزيئات تربة سالبة الشحنة، قطرها أصغر من ١ ميكرومتر.

فصل العمود: حالة تنشأ في خطوط الأنابيب تحدث عند النقاط المعزولة عندما ينخفض ضغط المياه إلى أقل من ضغط البخار، مما يؤدي إلى تبخر المياه، مما يفصل أجزاء من المائع.

صمام هواء تجميعي: صمام يتم استخدامه عند النقاط العالية من خط أنابيب المياه لإطلاق الهواء ومنع تكوّن التفريغ، والذي له سمات كل من صمامات تفريغ الهواء وصمامات إطلاقه.

مخروط الهبوط أو التأثير: منسوب الماء الأرضي أو السطح البيزومتري، الذي له شكل المخروط الحاد، والذي ينتج عن طريق استخراج المياه الجوفية من البئر.

الاستخدام المترابط: (١) لمياه الري المالحة: الاستخدام المفيد للمياه المالحة للري عن طريق التدوير أو الخلط الموسمي مع مصدر للمياه منخفض الملوحة. (٢) لمصدر المياه: جمع المياه من المصادر الجوفية والسطحية، وخاصة لري مزرعة أو مشروع.

الاستخدام الاستهلاكي: الكمية الكلية من المياه التي يمتصها الغطاء الخضري للنتح أو لبناء نسيج النبات، زائداً البخر الذي لا يمكن تجنبه لرطوبة التربة، والجليد، وسقوط الأمطار المقتطع المرتبط بالنمو الخضري.

الري بالتدفق المستمر: نظام لتسليم مياه الري حيث تتسلم كل عملية ري التدفق المخصص لها من المياه باستمرار.

الأخاديد الكنتورية: الخطوط المحروثة على سطح الحقل الكنتوري للعمل على تقليل فقد التربة وزيادة التسرب.

رأس التحكم: كل من المضخات، والصمامات، والفلاتر، والحاقن، ووسائل التحكم، ومعدات المراقبة والمرافق الأخرى المطلوبة لتسليم المياه عند ضغوط كافية وبكمية مناسبة وبجودة ملائمة لأجل نظام الري (وخاصة الري الدقيق)، واستخدام مصطلح رأس هنا لا يقصد به ضغط المياه.

محطة التحكم: (الري الدقيق) مرافق منبع السريان (أمام السريان) لخطوط توزيع وإضافة الري الدقيق لأغراض قد تشمل قياس المياه، والتسرب، والمعالجة، والتدفق، والتحكم في الضغط، وتوقيت الإضافة، و/أو منع التدفق العكسي. والذي يسمى أحياناً برأس التحكم.

الري الناقص المتحكم به: إستراتيجية ري يتم فيها إضافة المياه خلال وقت متأخر من موسم النمو بكمية أقل مما يتم استخدامها بشكل استهلاكي.

الصرف المتحكم بـه: تنظيم منسوب الماء الأرضي باستخدام وسائل المضخات، وسدود التحكم، أو مصارف التحكم، أو مزيج من هذه الوسائل، لأجل الحفاظ على منسوب الماء الأرضي عند عمق مفضل لنمو المحصول.

كفاءة النقل: نسبة حجم المياه التي تصل إلى حدود الحقل لحجم المياه المنقولة من المصدر.

فاقد النقل: فاقد المياه من القناة أو الأنبوب أثناء النقل، والتي تشمل الفواقد الناجمة عن التسرب، والتسريب، والتبخر، والنتح من خلال النباتات النامية في أو بالقرب من القناة.

جسر الركن: انظر نظام الركن.

نظام الركن: نوع من نظم الرش بالمحور المركزي التي يتم تصميمها لزيادة المساحة المروية على حقل مربع، ويتكون من جسر ركن مثبت عند طرف الخط الفرعي للمحور المركزي التقليدي والذي يدور حول نهاية الخط الفرعي في أركان الحقل، ولكن بخلاف هذا يكون مثبتاً خلف الخط الفرعي الرئيس.

أنابيب الصرف المصنوعة من البلاستيك المعرج: أنابيب لها قطاع عرضي مستدير، يتم تصنيعها عادة من البولي إيثيلين، مع وجود تعرجات عميقة مستمرة على الجدارن، وبهذا، وبالرغم من الوزن الخفيف، فإن لها مقاومة عالية للتحطم، ومتوفرة بمدى واسع من الأقطار، ويمكن أن يتم ثقبها في المصنع للسماح بدخول المياه.

القارنة: (الرشاش) جهاز، إما محكم السداد ذاتياً أو محكم السداد ميكانيكياً، والتي تصل بين طول اثنين من الأنابيب أو الأنبوب إلى الخرطوم.

ضاغط السحب الحرج: انظر صافي ضاغط السحب الموجب.

مساحة المحصول: (الري) مساحة سطح الحقل المخصصة لكل نبات. ومساحة المحصول هي تباعد النبات مضروباً في تباعد الصفوف.

معامل المحصول: معامل لتعديل تقديرات البخر-نتح المرجعي للمحصول (ET) لاستنتاج تقدير البخر-نتح ET لبعض المحاصيل الأخرى (غير المرجعية).

احتياجات الري للمحصول: كمية المياه، باستثناء سقوط المطر الفعال، اللازمة لإنتاج المحصول، مع تجنب إجهاد المياه على المحصول.

وصلة صليبية: (نظم الري المضغوطة) وصلة أنابيب بأربعة مخارج أو توصيلات، بين كل منها زاوية قدرها ٩٠ درجة.

الحفر: الجزء من سطح الأرض الذي يتم منه إزالة الأرض أو الصخور عن طريق القطع، والعمق أسفل سطح الأرض الأصلي إلى السطح المحفور.

الحفر والردم: عملية تحريك الأرض عن طريق قطع جزء من الأرض وإعادة وضع المادة المقطوعة على مناطق أخرى أو استخدامها كحواجز.

الري الخفضي: تقليل تيار المياه المتدفق على الخطوط أو الشرائح بعد أن تتقدم المياه بشكل جزئي أو بشكل تام من خلال الحقل، للعمل على تقليل الجريان السطحي.

تدفق دارسي: تدفق المائع اللزج في وسط منفذ موحد الخواص، متناسب مع وفي اتجاه انخفاض الميل الهيدروليكي (مقتبس من ICID MTD, 1996).

خطوط المستوى الميت: انظر القاع في الأحواض.

التسرب العميق: المياه التي تتحرك لأسفل من خلال قطاع التربة أسفل منطقة الجذور والتي لا يمكن استخدامها من قبل النبات.

الري الناقص: إدارة تطبيق مياه الري لإضافة مياه أقل من التي تلبي نقص مياه التربة في منطقة الجذور بأكملها، وغالباً أثناء مراحل معينة لنمو المحصول. وأحياناً ما تسمى بالري المحدود، أو المجهد، أو الري الناقص المنظم، أو جفاف منطقة الجذور الجزئي.

صندوق التوصيل: (الري) بناء يتم استخدامه لتحويل المياه من قناة ما إلى المزرعة وغالباً ما يحتوي على جهاز قياس، ويسمى كذلك بالمشاركة.

نظام الري بالطلب: سياسة توصيل مياه الري الذي فيها يتم إمداد كل من يقوم بالري بترعة مقاطعة أو خط أنابيب من الممكن أن تطلب المياه بالكمية اللازمة وفي الوقت المرغوب.

إزالة النيترة: التقليل الكامل للنيترات إلى النيتروجين الجوي وأكاسيد النيتروجين (من ICID MTD, 1996).

مرحلة النضوب: الفترة، في الري السطحي، بين مرحلة التقدم ومرحلة الانحسار، والتي خلالها ينخفض سطح المياه.

التخزين المنخفض: انظر التخزين السطحي.

كفاءة الإضافة التصميمية: كفاءة إضافة المياه المحسوبة عندما يتم إضافة المياه بمعدل التصميم وزمنه. انظر كفاءة إضافة المياه.

انتظامية التنقيط التصميمي: مقياس للانتظامية التي يتم بها تصرف المياه من المنقطات الفردية من خلال الري الدقيق. والمقياس المحسوب لكيفية توزيع التصميم الكلي بشكل منتظم من كل المنقطات في الحقل. وغالباً ما يتم الخلط بينها وبين انتظامية التنقيط، والتي تنتج من القياسات الحقلية الفعلية للتصرف من المنقطات.

حوض الترسيب: انظر قطاع التصفية.

منحنى الامتـــزاز: منحنيات تصف العلاقات المستخلصة تجريبيا بين المحتوى المائي والسحب، ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة. كما تشير إلى منحنيات الاحتفاظ بالماء ومنحنيات الإفراج عنها.

نسبة البعد: نسبة متوسط قطر الأنبوب إلى أقل سمك للجدار للأنابيب البلاستيكية. ومن الممكن أن يكون القطر الداخلي أو الخارجي للأنبوب، بناءً على نوع البلاستيك.

المرشح القرصي: مرشح صغير عالي السعة يتم استخدامه في نظم الري الدقيق التي تستخدم البلاستيك الحلقي المحفور، أو الأقراص المعدنية المغطاة بالإيبوكس أو الرقاقات المكدسة بشكل محكم داخل الأسطوانة. ويتم في الغالب ثني المرشحات مع بعضها البعض ويكون لها سعة حوالي ١ لتر/ث، وغالباً ما تعرف بمرشح الرقاقة.

قناة التوزيع: (١) قناة صغيرة تقوم بأخذ المياه من قناة لتسليمها إلى المزارع. (٢) أي نظام للقنوات الفرعية. (٣) قناة نهر تتدفق بعيداً عن مجرى التيار المائي الرئيس ولا يعود إليه، على النقيض من الروافد.

نظام التوزيع: نظام من الخنادق أو القنوات، ووسائل التحكم الخاصة بها، التي تقوم بنقل المياه من قناة إمداد المياه إلى البوابات الرئيسة للمزارع التي تخدمها القناة.

انتظامية التوزيع للربع المنخفض: نسبة متوسط عمق الربع الأقل من قياسات مياه الري المتسربة إلى متوسط عمق مياه الري المتسربة، معبراً عنها بالنسبة المئوية.

انتظامية التوزيع: مقياس لانتظامية توزيع مياه الري فوق الحقل.

صندوق التحويل: هيكل يتم إنشاؤه على القناة لتقسيم المياه إلى أجزاء محددة سلفاً وتحويلها إلى قنوات أخرى.

سد التحويل: حاجز أو سد يتم بناؤه على أو عبر مجرى المياه بغرض تحويل جزء أو كل المياه من المجرى المائي إلى القناة.

قاعدة الاعتماد المسبق: قاعدة قانونية لحقوق المياه التي تؤكد أن كل المطالبات بالمياه تقوم على الاستخدام المفيد.

مضخة السحب المزدوج: مضخة طرد مركزي أفقية لها مدخلان للسحب، واحد على كل جانب من الدافع.

مسامية الصرف: انظر الإنتاجية النوعية.

معامل الصرف: قيمة التصميم التي يتم عندها إزالة المياه الجوفية الضحلة من منطقة ما ليتم تصريفها، وغالباً ما يتم التعبير عنه بوحدات العمق في اليوم.

الصرف: عملية إزالة المياه السطحية أو تحت السطحية من تربة أو منطقة ما.

فترة التصريف: زمن انسحاب منسوب الماء الأرضي أثناء دورة الصرف.

البعثرة: حركة قطرات المياه في الهواء بفعل بعثرة الرياح، وخاصة إعادة توزيع قطرات المياه من الرشاشات أو رشاشات الحقل عن طريق الرياح. وغالباً ما تؤثر سلباً على توزيع مياه الري أو تتسبب في أن تبلل مياه الري مناطق غير مرغوبة، ومن الممكن أن تمثل خطورة إذا كانت قطرات مياه الري التي تحتوي على مبيدات للآفات من الممكن أن تصل إلى مناطق واقعة خارج الحقل المروي.

الري بالتنقيط: طريقة للري الدقيق يتم فيها إضافة المياه إلى سطح التربة على هيئة قطرات صغيرة أو تيارات مائية صغيرة من خلال المنقطات. وتكون معدلات التصرف بشكل عام أقل من ٨ لتر/ساعة (٢ جالون/ساعة) لمنقطات المخرج المنفرد و١٢ لتر/ساعة (٣ جالون/ساعة) لكل متر لمنقطات المصدر الخطي.

شرائط التنقيط: أنابيب من البولي إيثيلين قابلة للطي رفيعة الجدران منخفضة الضغط مدمج بها منقطات أو فوهات مثبتة بها.

توزيع حجم القطرة: تدرج أقطار قطرات المياه، سواء المنبعثة من تشغيل الرشاش، أو الواصلة لسطح التربة عند مسافة ما من الرشاش.

منشآت السقوط: بناء هيدروليكي لأجل النقل الآمن للمياه في قناة ما إلى قناة منخفضة المستوى بدون التسبب في حدوث انجراف.

أنبوب السقوط: أنابيب مرنة صغيرة القطر موضوعة عند مسافات فاصلة على امتداد المحور المركزي أو خط فرعي متنقل لنقل المياه إلى أجهزة تنقيط مياه منخفضة الارتفاع. وتتصل بشكل نموذجي بأنبوب إمداد المياه من خلال أنبوب توصيل صغيرة على شكل حرف U تسمى بعنق الأوزة.

زراعة الأراضي الجافة: إنتاج المحصول بدون ري، ويُشار إليها بالزراعة المطرية عندما يتجاوز تساقط المطر السنوي الاحتياج المائي للمحصول.

المقنن المائي: انظر الاحتياجات المائية للمحصول.

الاتزان الديناميكي: (منسوب الماء الأرضي) الحالة التي يكون فيها المدى السنوي لتقلبات منسوب المياه ثابتاً نسبياً من عام لآخر.

نظم تـــدفق Ebb: نظام ري يتم استخدامه مع النباتات المحفوظة بأوعية والتي يتم غمرها بالمياه بشكل دوري ثم يتم تصريفها والأوعية على حوض محكم. ويتم استخدام المياه المتصرفة لأجل ري الحوض التالي.

الكفاءة الاقتصادية: أقصى قيمة اقتصادية متأتية من استخدام المياه، ويُشاع التعبير عنها لكل وحدة حجم من المياه المستهلكة بدلاً من لكل وحدة مشتقة أو مضافة، للعمل على التبرير الصحيح لتدفقات العودة.

دوامة المغايرة: مقياس إحصائي يتم استخدامه في تحليل الرياح عالية التكرار وسلسلة بيانات الغلاف الجوي العددية للحصول على قيم تدفقات بخار المياه، وثاني أكسيد الكربون، والحرارة الملموسة، والتي تمثل مناطق كبيرة نسبياً.

الغطاء الكلي الفعـــال: علم دراسة التغييرات البيئية ويبحث في العلاقة بين المناخ والظواهر الإحيائية التي تبدأ عند نهاية فترة نمو المحصول. ويمكن تعريفه بشكل مختلف كما (أ) الوقت الذي تبدأ فيه بعض الفروع من النباتات في الصفوف المجاورة في التداخل؛ وبهذا تصبح الظلال فوق التربة شبه مكتملة، و(ب) عندما تصل النباتات تقريباً إلى الحجم الكامل، و(ج) عندما يكون الجزء المتوسط من سطح التربة المغطى بالكساء الخضري حوالي ٠,٧ إلى ٠,٨، و(د) عند بدء الإزهار، و(هـ) عندما يصل مؤشر مساحة الأوراق إلى قيمة ٣ تقريباً. ومن الممكن أن يستمر المحصول في النمو في كل من الارتفاع ومساحة الأوراق بعد الوصول إلى الغطاء الكلي الفعال.

المطر الفعال: جزء من تساقط المطر الكلي الذي يتاح لنمو النبات.

الري بالدفق: إضافة مياه الصرف الصحي إلى الأرض لغرض الري والاستخدام المفيد للمغذيات (الأسمدة) التي تحتويها.

معامل التوصيل الكهربائي: مقياس لقدرة المياه على توصيل الكهرباء، ويتم استخدامه لتقدير كمية الأملاح الذائبة في مياه الصرف أو الري، أو محلول التربة.

كتلة المقاومة الكهربائية: كتلة صغيرة تتألف من مجموعة من الأقطاب الكهربائية في مادة ماصة، مثل الجبس، وتستخدم لتقدير المحتوى المائي للتربة.

ضاغط الارتفاع: الطاقة التي يمتلكها المائع نتيجة لموقعها فوق بعض المساند.

نقطة التنقيط: الموقع الذي تتصرف منه المياه من المنقط.

انتظامية التنقيط: مؤشر لانتظامية معدلات تصرف مجموعة المنقطات من خلال الري الدقيق. مع الأخذ في الاعتبار كل التغيرات في المنقطات والاختلافات في الضغط التي تعمل في ظله هذه المنقطات.

المنقط: أداة يتم من خلالها تصريف المياه من نظام الري إلى سطح الحقل. ومن الممكن أن يكون بأي من الأنواع التالية:

منقط الغسيل: منقط مصمم ليكون له تدفق للمياه يسمح بغسيل فوهة التصرف، إما بشكل مستمر أو في كل مرة يتم تشغيل النظام.

منقط المتاهة (المنقط المضطرب أو منقط المسار المضطرب): منقط للري الدقيق له مسارات طويلة ومعقدة تعمل على خلق تدفق مضطرب عند ضغوط التشغيل.

منقط المصدر الخطي: جهاز ري دقيق يتم فيه تصريف المياه من فتحات ومنقطات متقاربة المسافة، أو من جدار منفذ على امتداده، كبديل للمنقطات المنفصلة.

منقط المسار الطويل: منقط يستخدم أنبوباً شعرياً طويل الحجم أو مساراً شعرياً لتبديد الضغط.

المنقط متعدد المخرج: منقط يقوم بإمداد المياه إلى نقطتين أو أكثر من خلال أنابيب مساعدة صغيرة القطر جداً.

منقط الفوهة: منقط يستخدم فوهة واحدة أو أكثر لتبديد الضغط.

منقط معادل الضغط: منقط ذو فوهة يتم تصميمها للاستفادة من الحاجز المرن داخلها للعمل على تصريف المياه بمعدل ثابت عبر مدى واسع من ضغوط الخط الفرعي.

منقط الدوامة: منقط يقوم بتوظيف تأثير الدوامة للعمل على تبديد الضغط.

الرشاش المدفعي الطرفي: رشاش كبير، يشبه المدفع ويستخدم مع نظم الرش المتنقلة، والمركب على نهاية الخط الفرعي للمحور المركزي لإطلاق المياه على مسافة طويلة، وبالتالي زيادة المساحة المروية لطول فرعي ما.

مضخة السحب الطرفي: مضخة طرد مركزي أفقي لها مدخل سحب واحد، على جانب واحد من الدافع.

إندوتوكسين: جزيئات بولي أكرايد (السكاريد) المعقدة التي توجد في الغشاء الخارجي للخلية للبكتريا سالبة الجرام وتعمل على ظهور استجابة مضادة جينياً، ومن الممكن أن يتسبب هذا الظهور في حدوث حالة نزيف مسموم وإسهال حاد. وقد توجد في مياه الصرف الصحي التي لم يتم معالجتها بشكل كاف والمستخدمة كمصدر لمياه الري.

إنتروبكتريا: بكتريا من الممكن أن تعيش في الأمعاء الدقيقة، ومن بينها تلك التي قد تسبب الأمراض. ومن الممكن أن توجد في مياه الصرف الصحي التي لم يتم معالجتها بشكل كاف والمستخدمة كمصدر لمياه الري (مقتبس من ICID MTD, 1996).

المحتوى الحراري: في علم الأرصاد الجوية، يعد المحتوى الحراري هو الحرارة المحسوسة. وفي علوم الديناميكا الحرارية، فهو وظيفة للنظام، أي ما يكافئ مجموع الطاقة الداخلية للنظام بالإضافة إلى ناتج حجمه مضروباً في الضغط المبذول عليه والناتج من محيطه.

ضاغط المدخل: الضاغط المطلوب لبدء التدفق في قناة أو بناء.

فاقد المدخل: فاقد الطاقة نتيجة الدوامات والاحتكاك عند المدخل لقناة أو بناء.

الترعة المساوية: قناة فرعية، تكون عادة موازية لقناة الحقل، يتم استخدامها لإمداد مياه الري إلى خطين أو أكثر.

البخر-نتح (ET): المياه الناتجة من الغطاء الخضري زائداً المتبخرة من سطحي التربة والنبات.

نسبة الصوديوم المتبادل: النسبة المئوية لسعة تبادل الأيونات الموجبة (الكاتيونات) من التربة التي تشغلها أيونات الصوديوم.

التحكم في التغذية الاسترجاعية: نظم التحكم والإدارة التي تستجيب للمدخلات الفورية من أجهزة الاستشعار لضبط المدخلات أو المخرجات.

الرسمدة: إضافة محاليل النيترات (التسميد) إلى النباتات في مياه الري.

السعة الحقلية: كمية المياه التي تحتفظ بها التربة عندما يصبح تدفق المياه نحو الانخفاض الناتج عن الجاذبية ضئيلاً (لا يُذكر). وتسمى كذلك بالحد الأعلى للصرف.

ترعة الحقل: قناة يتم إنشاؤها داخل الحقل، إما للري أو للصرف.

نسبة الضغط الجوي عند الخمسة عشر: المياه التي تبقى عالقة ومحجوزة في الفراغات المجففة لعينة التربة التي تم تبليلها ثم تجفيفها للوصول إلى الاتزان على الغشاء الخارجي للتربة عند وصول توتر رطوبة التربة إلى ١٥٥ م من المياه، والتي يتم التعبير عنها بالنسبة المئوية من الكتلة الجافة للتربة، وهي تقدير لنقطة الذبول الدائم أو الحد الأدنى في بعض أنواع التربة.

المرشح الشريطي: شريط دائم من النباتات مزروع بين الحقول وأبنية توصيل أو نقل المياه لمنع الجريان السطحي وإزالة الرواسب، والأسمدة، أو الملوثات الأخرى من الجريان السطحي للمياه. وهي تسمى كذلك بمنطقة تصفية الغرين.

المرشح: (١) الرمال، أو الحصى، والمواد الليفية الأخرى التي توجد حول مصفاة البئر أو الغلاف المحيط لزيادة النفاذية قرب البئر ولمنع مادة تكوين الطبقة الصخرية المائية من دخول البئر. (٢) أي أجهزة متعددة يتم استخدامها في نظم الري الدقيق والري بالرش لإزالة الركام من المياه التي ربما تعمل على انسداد أو تلوث فوهات الرشاشات أو المنقطات.

معدل التسرب النهائي: انظر معدل التسرب الأساسي.

اللوح العلوي: لوح خشبي، يتم وضعه عادة أفقياً في فتحات رأسية أعلى بناء السد أو الاختبار، للتحكم في مستوى المياه عند المنبع (أمام السريان). ويسمى أحياناً بلوح العتبة.

بطانة الغشاء المرن: حاجز صناعي لحركة المياه، يتم تصنيعه في الغالب من كلوريد البولي فينيل أو ألواح البولي إيثيلين عالية الكثافة، ويتم استخدامها لتبطين مرافق تخزين المياه لمنع فقد المياه من خلال التسرب أو إلى مرافق احتواء مياه الصرف الصحي لمنع تدفق الملوثات إلى المياه الجوفية.

صمام الطفو: صمام يتم تشغيله بالطفو والذي يتم بشكل تلقائي بتدفق المياه.

الري بالغمر: أسلوب ري يتم فيه إضافة المياه إلى سطح التربة بدون وجود وسائل للتحكم مثل الخطوط، أو الشرائح، أو التموجات، ويتم استخدامها كذلك للإشارة إلى كل أشكال الري السطحي.

مقاييس التدفق: أي من الأنواع العديدة من الأجهزة التي يتم تصميمها لقياس معدل تدفق السوائل أو الغازات في الأنابيب المغلقة. ويتم استخدامها أحياناً للإشارة إلى أجهزة قياس التدفق في القنوات المفتوحة.

المسيل: (١) أي قناة مفتوحة لنقل المياه عبر عوائق، و(٢) ترعة كاملة ترتفع فوق سطح الأرض الطبيعية، قناة لجر المياه، و(٣) بناء، معاير بطول وشكل محدد، لقياس معدل التدفق في القناة المفتوحة.

فراقبن: تربة بها مناطق منضغطة ناجمة عن الترتيب المتلاصق لجزيئات الطمي والرمل (عادة ما يكون الطين قليلا) والتي تكون منفذة تقريباً للمياه. انظر الحاجز الصلب.

الارتفاع الحر: المسافة الرأسية بين أقصى ارتفاع لسطح المياه المتوقع في التصميم وأعلى ضفاف الاحتفاظ بالمياه، ومخارج خطوط الأنابيب، أو الأبنية الأخرى، التي يتم توفيرها لمنع العلو الزائد بسبب الظروف غير المتوقعة.

ضاغط الاحتكاك: الطاقة المطلوبة للتغلب على الاحتكاك الحادث نتيجة حركة السائل بالنسبة إلى حدود القناة أو الوسط الذي يحويه.

ميل الاحتكاك: الفقد في ضاغط الاحتكاك لكل وحدة طول من القناة.

الري الكامل: إدارة إضافة المياه لتعوض بصورة كاملة النقص في مياه التربة عبر الحقل بأكمله.

سياج الخط: حاجز صغير يتم إنشاؤه على الخط لمنع الجريان السطحي.

الري بالخطوط: طريقة للري السطحي يتم فيها إمداد المياه إلى خنادق صغيرة أو أخاديد (خطوط) ليتم توجيهها عبر الحقل. ومن الممكن أن يُشار إليه كذلك بري الغدير أو الري المموج عندما يكون حجم الخطوط صغيراً نسبياً.

الخطوط: (١) خندق أو أخدود يتم عمله في التربة باستخدام أداة للحرث. (٢) قناة صغيرة لنقل مياه الري.

بوابة: أداة تستخدم للتحكم في تدفق المياه إلى، أو من، أو في خط الأنابيب، أو القناة المفتوحة. ويمكن فتحها وغلقها من خلال فعل اللولب، أو الانزلاق، أو مشغل ميكانيكي هيدروليكي أو مشغل ميكانيكي بالهواء المضغوط.

الأنابيب المبوبة: أنابيب محمولة بها فتحات صغيرة مثبتة على امتداد جانب واحد لتوزيع مياه الري على التموجات أو الخطوط (الأخاديد).

نظام المعلومات الجغرافية، GIS: نظام حاسب آلي قادر على التقاط، وتخزين، وتحليل، وعرض المعلومات المرجعية المرتبطة بالجغرافيا.

النظام العالمي لتحديد المواضع، GPS: نظام ملاحي قائم على استخدام القمر الصناعي ومكون من شبكة عمل من الأقمار الصناعية موضوعة في مسارات محددة حول الأرض. وتسمح الإشارات الناتجة من الأقمار الصناعية بأن يتم تحديد خطوط الطول والعرض من أجهزة استقبال الإشارة بدقة، والتي تفيد في بعض التطبيقات مثل المسح، والبحث، والزراعة الدقيقة.

الميل أو الانحدار: (١) اسم. درجة ميل الطريق، أو القناة، أو سطح الأرض. (٢) فعل. تشطيب سطح قاع القناة، أو الطريق، أو قمة السد، أو قاع الحفر.

التدفق المتغير تدريجياً: التدفق غير المنتظم في القناة المفتوحة والتي فيها تكون التغيرات في العمق والسرعة من جزء لآخر متدرجة بشكل كافٍ؛ وبهذا تكون قوى التسارع مهملة.

مرشح الحصى: طبقة من حبيبات التربة الصلبة، التي ربما يبلغ سمكها عدة سنتيمترات، والتي يتم وضعها حول قناة صرف أو مصفاة بئر لمنع تسرب المواد الناعمة إلى المصرف أو البئر.

جهد الجاذبية: الارتفاع فوق أو أسفل مستوى المرجع. والمصطلح المفضل هو جهد مياه التربة.

مياه الجاذبية: مياه التربة التي تتحرك إلى، أو من خلال، أو خارج التربة تحت تأثير الجاذبية.

تدفق الجاذبية: تدفق المياه التي لا يتم ضخها وإنما تتدفق نتيجة لقوة الجاذبية. والتي تحدث في الري، والصرف، وعند المداخل، والمخارج.

المياه الرمادية: مياه الصرف الصحي المنزلية غير تلك التي تحتوي على الفضلات البشرية، مثل تصريف الأحواض، وتصرف غسالات الملابس، أو مياه الاستحمام.

معادلة جرين–أمبت: معادلة تصف تسرب المياه إلى داخل التربة كدالة في الزمن.

إجمالي احتياجات التحويل: الكمية الكلية للمياه المتحولة من مجرى مائي ما، أو بحيرة، أو خزان، أو التي يتم نزحها من طبقة المياه الجوفية لكي يتم بها ري المحصول.

إجمالي احتياجات مياه الري (IR): البخر-نتح السنوي الكلي للمحصول، والأقل فاعلية من سقوط الأمطار، الذي يتم تقسيمه عن طريق الكفاءة وعوامل الغسيل.

جهاز دائرة الأرض–الخطأ: جهاز سلامة كهربائي يقوم على نحو فوري بقطع التيار الكهربي عند اكتشاف تسرب في التيار.

استنزاف المياه الجوفية: ضخ المياه الجوفية، لأجل الري أو الاستخدامات الأخرى، بمعدلات إلى حد كبير أسرع من معدلات إعادة ملء المياه الجوفية. وهذا يؤدي في النهاية إلى استنزاف طبقة المياه الجوفية.

المياه الجوفية: المياه التي توجد في منطقة التشبع في الطبقة الصخرية المائية أو التربة.

الموسم الزراعي: الفترة التي يمكن أن تنتج المحاصيل خلالها، وفي كثير من الأحيان فترة مناخية خالية الصقيع.

كتلة الجبس: كتلة ذات مقاومة كهربائية، يتم استخدامها لبيان محتوى الرطوبة بالتربة، وتكون مادة الكتلة الممتصة هي الجبس.

الخرطوم القاسي: قناة تقوم بإمداد المياه، تحت ضغط، إلى رشاش متنقل. وهذا الخرطوم يكون مرناً بدرجة تكفي أن يبقى متصلاً بكل من مصدر المياه والرشاش أثناء التنقل، ولكنه يكون قاسياً بدرجة كافية للحفاظ على قطاع عرضي دائري عندما لا يكون مضغوطاً.

الطبقة الصلبة: المصطلح العام المستخدم لوصف طبقة التربة الكثيفة المميزة التي تكون غير منفذة للمياه إلى حد كبير، والتي توجد عادة أسفل طبقة سطح التربة العلوي، والتي من الممكن أن تعمل على تقييد نمو جذور النبات وحركة معدات الحرث. ومن الممكن أن تتكون الطبقات الصلبة عن طريق ترسب السيليكا في التربة التي تدمج وتربط جزيئات التربة أو عن طريق المصفوفات الصلبة التي تتكون عن طريق ترسبات أكاسيد الحديد وكربونات الكالسيوم. وتتشكل الطبقات الصلبة الأخرى عن طريق الانضغاط الذي يحدث بسبب الحركة الطبيعية وتغليف جزيئات التربة الفرقبنية، عن طريق حركة المركبات الزراعية فوق التربة، أو عن طريق عمليات الحراثة المتكررة باستخدام معدات مثل محاريث لوح التشكيل أو المحاريث الدورانية.

مروى أمامي: خندق (قناة صغيرة) يتم إنشاؤه عبر حقل ما، ويتم استخدامه لتوزيع المياه في الري السطحي.

البوابة الأمامية: منشأة للتحكم في المياه عند مدخل الترعة أو القناة.

فقد الضاغط: الطاقة المفقودة في تدفق الموائع.

أعمال تحكم: منشآت تحويل عند الطرف العلوي لترعة أو قناة.

ضاغط: الطاقة التي توجد في نظام السائل والتي يتم التعبير عنها بالارتفاع المكافئ لعمود السائل فوق مستوى إسناد ما.

الديدان الطفيلية: ديدان طفيلية خيطية، أو مستديرة، أو خطافية، أو شريطية، أو سوطية. من الممكن أن توجد في التربة أو في مياه الري أو الصرف. ومن الممكن أن تؤثر بشكل سلبي على صحة الإنسان.

مضخة الطرد المركزي الأفقية: مضخة طرد مركزي لها عمود إدارة أفقي.

المناخ الرطب: مناخ يمتاز بمعدل تساقط أمطار عال واحتمال تبخر منخفض. ويتم اعتبار منطقة ما بأنها منطقة رطبة عندما يكون متوسط معدلات سقوط الأمطار أكبر من ٥٠٠ مم (٢٠ بوصة) في العام.

هيدرنت: مخرج، عادة ما يكون متنقلاً، يتم استخدامه لربط أنبوب الري السطحي إلى مخرج صمام برسيم حجازي.

معامل التغير الهيدروليكي: مقياس أداء يقوم بالتخلص من عدم انتظامية منقطات الري الدقيق الذي تسببها الاختلافات في الضغط.

معامل التوصيل الهيدروليكي: قدرة الوسط المنفذ على نقل مائع محدد تحت وحدة الميل الهيدروليكي، وهو دالة في كل من خصائص الوسط وخواص المائع التي يتم نقلها. وغالباً ما يتم تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي بعمليات القياس في المختبر، ثم تصحيح القياسات عند درجة الحرارة القياسية والتعبير عنها بوحدات الطول/الزمن. (بالرغم من أن مصطلح معامل التوصيل الهيدروليكي يتم استخدامه في بعض الأحيان بشكل متبادل مع مصطلح النفاذية، إلا أن المستخدم يجب أن يكون متنبهاً لأوجه الاختلافات بينهما).

الكفاءة الهيدروليكية: (١) الكفاءة التي تقوم بها المضخة بنقل الطاقة إلى المياه أو كفاءة قيام التربينات باستخراج الطاقة من المياه. (٢) مقياس للفاقد في الطاقة عندما تتدفق المياه عبر الأبنية أو الهياكل الهيدروليكية.

الميل الهيدروليكي: التغير في الضاغط الهيدروليكي لكل وحدة مسافة.

القفزة الهيدروليكية: حدوث ارتفاع كبير مفاجئ لمستوى المياه من مرحلة تدفق أقل من العمق الحرج إلى مرحلة تدفق أكبر من العمق الحرج، والتي تمر فيها السرعة من فوق الحرجة إلى السرعة تحت الحرجة.

نصف القطر الهيدروليكي: مساحة المقطع العرضي لمجرى المائع أو الأنبوب مقسوماً على المحيط الخارجي المبلل الخاص به.

المقاومة الهيدروليكية: الاحتكاك على طول الحدود المبلل للقناة أو الأنبوب والذي يسبب فاقداً في الضاغط.

قوة الدفع الهيدروليكي: الشد الذي يوجد على عمود إدارة المضخة، والذي يتكون من مجموع وزن الريش، ووزن عمود التدوير الخطي، وقوة الدفع الهيدروليكي على الريش.

المنحنى المائي: رسم بياني أو جدول لمعدل تدفق تيار مائي بالنسبة للزمن.

الدورة الهيدرولوجية: مصطلح يستخدم لوصف حركة المياه إلى وعلى الأرض وفي الغلاف الجوي. ويشمل كمًّا هائلاً من العمليات، مثل سقوط الأمطار، والتبخر، والتكثيف، والجريان السطحي، التي تكوّن الدورة الهيدرولوجية.

الضغط الهيدروستاتيكي: القوة لكل وحدة مساحة يتم بذلها عن طريق السائل الذي يوجد في وضع السكون.

الماء الهيجروسكوبي: الرطوبة التي تمتصها التربة الجافة من الغلاف الجوي المشبع.

التوقف عن الحركة: (التربة) التحول البيولوجي للمركبات غير العضوية التي توجد في التربة إلى مركبات عضوية مثل المركبات التي ليس للنبات قدرة على استخدامها، ولكن التي لا يزال في الإمكان غسلها.

المقياس المروحي: جهاز ميكانيكي دوار (مروحة) يستخدم لقياس معدل التدفق في الأنبوب أو القناة المفتوحة.

الطبقة غير المنفذة: (التربة) طبقة من التربة تقاوم اختراق المياه، أو الهواء، أو الجذور.
قابلية التسرب: انظر سعة التسرب.
سعة التسرب: أقصى معدل تتسرب به المياه خلال التربة، وهي مقيدة بخواص التربة. وهي تفترض أن إمدادات المياه إلى سطح التربة غير محدودة.
زمن فرصة التسرب: الزمن الذي تغمر فيه المياه سطح التربة، مع وجود فرصة للتسرب.
تجويف التسرب: انخفاضات في التربة قرب ضاغط التحكم في نظام الري الدقيق لأجل التخلص من المياه المتصرفة من النظام.
معدل التسرب: كمية المياه التي تعبر سطح التربة في فترة زمنية محددة. وغالباً ما يتم التعبير عنه بحجم المياه لكل وحدة من مساحة سطح التربة لكل وحدة من الزمن.
التسرب: دخول المياه لأسفل من خلال سطح التربة إلى داخلها.
مقياس التسرب: جهاز لقياس معدل تسرب المياه إلى داخل التربة.
متطلبات التدفق للتيار المائي: نظام التدفق اللازم توفيره للاحتياجات المشتركة للأسماك، والحياة البرية، والترفيه، والملاحة، وإنتاج طاقة المياه، ونقل المياه لأسفل في التيار المائي.
مأخذ: (١) اسم. منشأة أمامية على الأنبوب. (٢) مكان التحويل. (٣) فعل. تسرب المياه إلى داخل التربة.
الاعتراض: هذا الجزء من الأمطار الساقطة الذي يعترضه الكساء الخضري وبالتالي يمنعه من الوصول إلى سطح التربة.
المصارف القاطعة: نظام صرف مغطى مبطن، أو خندق مملوء بالحصى، أو المصرف المفتوح المركب عند زاوية طفيفة مع الخط الكنتوري لجمع ونقل المياه الجوفية أثناء تدفقها عبر الطبقة غير المنفذة. وبالتالي، يتم منع مزيد من المياه من أن تتسبب محلياً في تشبع منطقة جذور المحصول أو تتسبب في تكوين حواجز لتصبح غير ثابتة. والتي يتم استخدامها عندما تنشأ المياه خارج المنطقة التي يتم حمايتها عن طريق المصارف.

الزراعة البينية: ممارسة زرع محصول إضافي في المناطق الخالية المتاحة بين نباتات أو صفوف المحصول الرئيسة، للعمل على إنتاج أكبر محصول لكل وحدة مساحة خلال فترة زمنية ما.

التشابك (التعشيق): جهاز سلامة يعمل على نظام الري الكيميائي والذي يمنع تشغيل مصدر المياه أو مضخة المحلول الكيميائي إذا توقفت المضخات الأخرى، وبالتالي تمنع انسكاب الكيماويات.

البذر البيني: الممارسة العامة لبذر المحصول في مناطق أخرى، وتنميتها، وزراعة المحصول في أواخر الموسم، في العادة للعمل على تحسين الإنتاج الحيوي، والسيطرة على انجراف التربة، أو للعمل على زيادة المادة العضوية في التربة.

النفاذية الفعلية: خاصية المادة المسامية التي تصف السهولة التي تتدفق بها الغازات أو السوائل من خلالها. انظر النفاذية.

المقلوب: العنصر الأدنى من القطاع العرضي الداخلي من القناة أو الأنبوب.

السحارة: قناة مغلقة (أنبوب) مع وجود الأجزاء الطرفية فوق جزء المنتصف، والذي يتم استخدامه لحمل تدفق القناة أسفل الانخفاض أو تحت الطريق السريع عن طريق الجاذبية. وهو لا يتضمن عمل السيفون.

فواقد المياه غير القابلة للاسترداد: الفاقد في المياه، بسبب البخر، أو النتح، أو تغذية المياه الجوفية التي لا يمكن استردادها من الناحية الاقتصادية، وتصبح غير متاحة لإعادة الاستخدام.

المساحة الممكن ريها: المساحة التي توجد في المشروع والتي يمكن ريها، في الأساس بسبب توفر المياه، ووجود التربة المناسبة، والتضاريس المناسبة.

تيار الري: (١) التدفق للري على جزء محدد من الأرض. (٢) تدفق المياه الموزعة في حالة ري واحدة. والتي يُطلق عليها أحياناً ضاغط الري.

تفتيش الري: حاجز أو سد صغير يتم استخدامه في الخط على امتداد شريحة الري لجعل المياه تنتشر عبر الشريحة بشكل متساو.

مقاطعة الري: منظمة تعاونية، ذاتية الحكم، شبه عامة يتم إنشاؤها كقسم فرعي لولاية أو حكومة محلية لتوفير مياه الري لأعضاء المقاطعة.

كفاءة الري: نسبة متوسط عمق مياه الري التي يتم استخدامها على نحو مفيد إلى متوسط عمق مياه الري المضافة، والتي يتم التعبير عنها بالنسبة المئوية. انظر الاستخدام المفيد.

خرطوم الري: أنبوب مغلق لإمداد المياه إلى نظم الري المتحركة، والتي تكون مرنة عندما تتعرض لضغط التشغيل الطبيعي، ومن الممكن أن يكون قابلاً للانهيار ويصبح قطاعه العرضي مسطحاً عندما يتم تفريغه من الهواء.

الفترة بين الريات: الزمن منذ بدء إحدى عمليات الري حتى بداية عملية الري التالية في حقل ما. وأحياناً ما تسمى بتكرار الري.

نسبة الجريان السطحي للري: العمق المكافئ لمياه الري التي تجري عبر الحقل والتي يتم التعبير عنها كنسبة مئوية من عمق مياه الري المضافة.

وضع الري: المساحة التي يتم ريها في المرة الواحدة داخل الحقل.

مضخة النفث: مضخة طرد مركزي يتم تجهيزها بجهاز دفق أو نفث يسمح برفع المياه من أعماق أكبر عما يمكن القيام به بدون جهاز الدفق. ويتم استخدامها في المعتاد لإمداد المياه للأغراض المنزلية.

الموجة الكينيماتيكية: طريقة للتحليل الرياضي للتدفق غير المستقر في القنوات المفتوحة والتي يتم فيها حذف الحدود الديناميكية؛ لأنها تكون صغيرة القيمة جداً ويُفترض أن تكون مهملة.

معادلة كوستيكوف: وصف رياضي لمعدل التسرب إلى داخل التربة عند اختلافه مع الزمن.

زمن التأخر: (الري السطحي) الفاصل الزمني بين الزمن الذي تنقطع فيه المياه عند الطرف العلوي من حقل ما والزمن الذي تتراجع (تختفي) عنده هذه النقطة.

تشكيل الأرض: مصطلح عام يشمل كلا من تدريج الأراضي وتسويتها.

تدريج الأراضي: تشكيل سطح الأراضي على أساس تدرجات (ميول) مسبقة التحديد وبهذا يميل كل صف أو سطح إلى المصرف أو يتم إعداده لرفع كفاءة إضافة مياه الري. ويُسمى كذلك بتشكيل الأراضي. انظر تسوية الأراضي كحالة خاصة.

آلة تسوية الأراضي: آلة لها قاعدة عجلة طويلة، يتم استخدامها لتمهيد الأرض أو لعمليات تسويتها.

تسوية الأراضي: عملية تشكيل سطح الأرض للوصول إلى سطح مستو، حالة خاصة من تدريج الأراضي.

تمهيد سطح الأراضي: إزالة عدم الانتظام من سطح التربة.

معامل المسطحات الخضراء: معامل لتعديل تقديرات البخر-نتح المرجعي للمحصول لاستنتاج تقدير البخر-نتح للمسطحات الخضراء، في المناطق الحضرية.

التسوية بالليزر: عملية تسوية الأراضي التي يتم فيها استخدام جهاز إرسال إشارات الليزر الثابت ومستقبل إشارات الليزر على آلات تحريك الأراضي للتحكم في التدريج.

مستقبل إشارات الليزر: جهاز إلكتروني يتم تركيبه عمودياً على ماكينات تحريك الأراضي أو حفارات الخنادق، والتي تستقبل الإشارات من جهاز إرسال الإشارات بالليزر إلى من يقوم بالتشغيل أو إرسال إشارات إلى نقاط التحكم على الماكينة لضبطها لتتبع الميل الذي تكوّنه آلة إرسال الإشارات بالليزر.

ناقل إشارات الليزر: جهاز يعمل على توليد شعاع ضوء ليزر متواز. وعن طريق دوران الشعاع، يصبح من الممكن تكوين سطح من ضوء الليزر.

فرع: فرع من قناة الري الكبيرة. والتي تشير بشكل عام إلى القناة التي تحمل المياه من القناة الرئيسة إلى مدخل أو بوابة المزرعة الرئيسة.

صندوق الشريحة: انظر السدادة.

المياه المرتشحة: المياه التي تتحرك لأسفل من خلال وسط منفذ ما، والتي تحتوي في الغالب على المواد المذابة من الوسط.

جزء الغسيل: نسبة عمق مياه الصرف تحت السطحي (التسرب العميق) إلى عمق مياه الري المتسربة. انظر احتياجات الغسيل.

احتياجات الغسيل: الجزء من المياه التي تدخل التربة والتي يجب أن تمر من خلال منطقة الجذور لكي تمنع ملوحة التربة من أن تتجاوز قيمة محددة. ويتم استخدام احتياجات الغسيل في الأساس في الحالة الثابتة أو في ظروف المتوسط على المدى الزمني الطويل (USDA, 1954).

الغسيل: إزالة المواد القابلة للذوبان من التربة أو المواد المنفذة الأخرى عن طريق ترشيح المياه من خلالها.

طول المجرى: المسافة التي يجب أن تتدفق المياه عبرها في الخطوط أو الشرائح فوق سطح الحقل من بدايته إلى نهايته.

ليبا LEPA: انظر الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة.

معادلة لويس وميلن: معادلة تصف تسرب المياه إلى التربة كدالة في الزمن.

تكلفة دورة الحياة: مجموع التكاليف الاستثمارية الأولية والتكاليف الثابتة والمتغيرة الأخرى، والتي تشمل الفوائد على الأموال المستثمرة، عبر عمر قطعة ما من المعدات مثل محطة الضخ أو نظام الرش.

الرفع: (١) عمق طبقة التربة المترسبة مع كل عملية مرور لمعدات تحريك الأراضي. (٢) المسافة الرأسية التي ترفعها المياه باستخدام المضخة، والتي يتم قياسها من سطح المياه التي يتم ضخها إلى ارتفاع التصرف.

الري المحدود: انظر الري الناقص.

بوابة الخط: لوحة الوصل النهائي، صمام لولبي يتم تثبيته على خط الأنابيب.

المصدر الخطي: (١) خط مفرد به رشاشات متقاربة التباعد نسبياً والتي تضيف المياه في نمط توزيع مثلث الشكل عمودياً على خط الرش، والذي يتم استخدامه لأبحاث استجابة مياه المحصول. (٢) مصدر للمياه يضيف المياه بشكل منتظم على امتداد خط ما، مثل خط التنقيط.

التسوية الطولية للسطح: عملية تسوية الأرض حيث يتم القيام بتحريك التربة بشكل موازٍ لاتجاه صف المحصول بغرض الحصول على التدريج.

الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (ليبا LEPA): نظام للري، إما بالمحور المركزي أو الحركة الجانبية، يتم تجهيزه بأنابيب ساقطة ممتدة الطول وأجهزة إضافة مصممة لإضافة كميات صغيرة ومتكررة من مياه الري عند أو قريباً من سطح الأرض إلى الخطوط المنفردة. ويتضمن مفهوم ليبا "LEPA" إدارة سطح التربة للعمل على زيادة تخزين المياه في الخطوط حتى اكتمال التسرب.

الليسومتر: كتلة معزولة من التربة، تكون في العادة غير موزعة في الموقع، لأجل قياس كمية، أو جودة، أو معدل حركة مياه التربة خلال أو من التربة. ويتم استخدام المصطلح الليسومتر غالباً على نحو خاطئ للإشارة إلى وعاء جمع العينات أو أوعية تجميع مياه التربة الفعالة أو غير الفعالة.

المسامات الكبيرة: تشققات أو تجاويف ملحوظة (مثل الحفر التي تكونها الديدان أو التجاويف التي تخلفها الجذور المتحللة) في قطاع التربة. انظر التدفق المفضل.

الاستنزاف المسموح به: نقص مياه التربة المسموح به عند وقت الري، ومن الممكن أن يختلف مع مرحلة نمو المحصول.

المشعب: (١) خط أنابيب له منافذ متعددة لإمداد المياه إلى الخطوط الفرعية. (٢) ترتيب الأنابيب للعمل على ربط خطوط متعددة أو أجهزة متعددة إلى أحد نظم الري. (٣) خط أنابيب يربط خطوط الصرف المغطى المتعددة للعمل على جمع النفايات السائلة للتخلص منها.

معامل التغير المصنعي: مقياس لمدى اختلاف التصرف من عينة عشوائية لمنقطات الري الدقيق لنموذج وحجم ما، حيث إنه يتم إنتاجها من قبل المصنّع وقبل أي عملية في الحقل أو قبل وصول المحصول إلى مرحلة الشيخوخة، وهو يساوي نسبة الانحراف المعياري لتصرف المنقطات إلى متوسط تصرفها.

الجهد المتري: مقياس لقوة الجذب التي تكون لمصفوفة التربة الصلبة على المياه. والذي يتم تعريفه على أنه كمية الشغل التي يجب القيام بها لنقل وحدة المياه النقية، والذي يساوي تكوين مياه التربة، من بين مجموعة من الارتفاع وضغط الغاز الخارجي لنقطة ما تحت الدراسة، إلى مياه التربة.

المرشحات الوسطية: صهاريج مضغوطة تحتوي على قاع ضيق منتظم من الرمال حادة الحافة أو الصخرة المفتتة لتصفية الملوثات العضوية وغير العضوية من المياه، والتي يتم استخدامها غالباً للري الدقيق.

بوابة قياس: صمام ري معاير يمكن تعديله ويُستخدم لقياس التدفق وللتحكم.

منقط الري الدقيق: جهاز توزيع صغير يتم تصميمه لتبديد الضغط، والتصرف على هيئة تدفق صغير منتظم أو قطرات صغيرة للمياه بمعدل منتظم والتي لا تختلف بدرجة كبيرة بسبب التغيرات الصغيرة في الضغط. والذي يسمى كذلك بالمنقط أو المقطر. انظر المنقط.

الري الدقيق: الإضافة المتكررة لكميات صغيرة من المياه على هيئة قطرات، أو تيارات صغيرة، أو رذاذ دقيق من خلال المنقطات أو أجهزة الإضافة التي توضع على امتداد طول خط تسليم المياه. ويشمل الري الدقيق عدداً من الطرق أو المفاهيم مثل نظام الري المتدفق (النابع)، والري بالتنقيط، وري التقطير، وري الضباب، وري الرذاذ.

الرشاش الصغير (دوار صغير، نخاخ صغير): أداة ري صغيرة، يكون له فوهة صغيرة في الغالب، وتتضمن الرشاشات الصغيرة منخفضة الضغط، الرذاذات، ونافثات، ورشاشات يتم تركيبها في الحقل على الأنابيب. ويقوم الرشاش الصغير في العادة بإضافة المياه إلى مساحة أكبر من المنقط الصغير، ولكنه لا يغطي على نحو منتظم المنطقة المزروعة بأكملها.

بوصة مينر: التصرف من فوهة ما، على بوصة واحدة مربعة من المساحة، تحت ضاغط محدد، ويحكمها قانون ما أو ممارسة ما ولكنها تختلف من ولاية إلى أخرى. ففي كلورادو، تساوي بوصة مينر ٠,٠٠٠٧٤ م^3/ث. وفي أريزونا، وشمال كاليفورنيا،

ومونتانا، ونيفادا، وأوريجون، تساوي بوصة مينر ٠,٠٠٠٧١ م³/ث. وفي جنوب كاليفورنيا، وأيداهو، وكنساس، ونيو مكسيكو، وداكوتا الشمالية، وداكوتا الجنوبية، ونبراسكا، ويوتا، تساوي بوصة مينر ٠,٠٠٠٥٧ م³/ث. (والتي لم تعد شائعة الاستخدام الآن).

الري الضبابي: طريقة للري الدقيق والتي يتم فيها إضافة المياه على هيئة قطرات صغيرة جداً، عادة من الأعلى، لتعديل درجة حرارة الهواء أو الرطوبة.

مضخة التدفق المختلط: مضخة يتطور فيها الضغط جزئياً عن طريق قوة الطرد المركزي وجزئياً عن طريق فعل الرفع لأجهزة الضغط على المياه، والتي تجمع بين خصائص التدفق المحوري ومضخات الطرد المركزي.

مكافئ الرطوبة: محتوى تربة عشوائي من المياه يتم استخدامه لتقدير السعة الحقلية للتربة. وهو يساوي وزن المياه التي تبقى في عينة التربة (والذي يتم التعبير عنه كنسبة مئوية من وزن التربة الجاف) بعد أن تتشبع التربة وتتعرض لمدة ٣٠ دقيقة لقوة طرد مركزي تساوي ١٠٠٠ مرة من قوة الجاذبية (لم تعد شائعة الاستخدام).

مضخة الحالة المتعددة (المراحل المتعـــددة): مضخة لها أكثر من دافع واحد، والتي تتركب كلها على عمود مشترك.

المقذوف المائي: طبقة أو ستارة من المياه المتدفقة من بناء ما، مثل هدار أو سد.

صافي احتياجات مياه الري: عمق المياه اللازمة لتلبية احتياجات البخر-نتح زيادة عن سقوط أي مطر فعال للحصول على محصول نامٍ خالٍ من الأمراض في حقل كبير في ظل ظروف التربة غير المقيدة وظروف مياه التربة وفي ظل معدلات تسميد كافية. والذي يأخذ في الاعتبار كذلك مساهمات المياه الجوفية الضحلة والتغير في مخزون مياه التربة أثناء فترة الدراسة.

صافي ضاغط السحب الموجب (NPSH): الضاغط الذي يتسبب في تدفق المياه من خلال أنبوب السحب والذي يدخل إلى قلب دافع المضخة. ويعد NPSH المطلوب،

والذي يجب أن يتم تحديده من قبل مصنّع المضخة، دالة في تصميم المضخة والذي يختلف مع سعة وسرعة المضخة. ويعد NPSH دالة في النظام الذي تعمل فيه المضخة ويمثل مستوى الطاقة في المياه فوق ضغط البخار عند مدخل المضخة. ويجب أن يساوي NPSH المتاح أو يتجاوز قيمة NPSH المطلوب وإلا سيحدث تكهف.

التشتت النيتروني: قياس محتوى مياه التربة عن طريق آلة تقوم بإنتاج نيترونات سريعة داخل قطاع التربة ليتم قياسها. ويتم "تسخين" النيترونات السريعة عن طريق تأثير أيونات الهيدروجين، وبالتالي من الممكن ربط كمية النيترونات المسخنة بمحتوى المياه.

الاستخدام غير المفيد: استهلاك المياه من قبل النباتات غير الاقتصادي والتبخر من التربة الجرداء والمسطحات المائية. انظر الاستخدام المفيد.

تلوث المصدر غير المفرد: التلوث الناتج من مناطق الانتشار (سطح الأرض أو الغلاف الجوي) الذي ليس له مصدر واضح المعالم.

الاستنزاف خارج العمليات: استخدام أو إزالة المياه من حوض المياه؛ وبهذا يكون غير متاح بشكل دائم لمزيد من الاستخدام. ومثل هذا الاستخدام أو الإزالة للمياه لا ينتج منفعة مرجوة. وهو يشمل التبخر من التربة والمسطحات المائية، والاستنزاف من خلال الحشائش الضارة والنباتات الأخرى غير الاقتصادية.

التربة القلوية غير المالحة: التربة التي تحتوي على صوديوم كاف للتداخل في نمو معظم المحاصيل. والمصطلح الذي يُفضل استخدامه هو التربة الصوديومية.

التدفق غير المنتظم: التدفق الذي لا يكون متوسط سرعة القطاع العرضي فيه ثابتة عند القطاعات العرضية المتعاقبة للقناة. وإذا كانت سرعة قطاع عرضي ما ثابتة مع الزمن، فإنه يُشار إليها بأنه تدفق ثابت غير منتظم. وإذا تغيرت السرعة مع الزمن عند كل قطاع عرضي، فإنه يُعرف بأنه تدفق غير منتظم غير ثابت.

العمق العادي: عمق التدفق في قناة مفتوحة أثناء التدفق المنتظم.

الفتحة: فتحة التصرف أو فوهة الرشاش، والتي تستخدم للتحكم في حجم التصرف، ونمط التوزيع، وحجم قطرات المياه.

نسبة الضغط الجوي الثلثية: المياه المحتجزة في عينة تربة مجففة بالهواء، ففحص عينة من التربة تم تبليلها ثم وصلت إلى حالة الاتزان على الغشاء المنفذ عندما يصل شد رطوبة التربة إلى ٣,٤٥ م من المياه، والتي يتم التعبير عنها بالنسبة المئوية من الكتلة الجافة من التربة. وهو تقدير للسعة الحقلية في بعض أنواع التربة. والتي يُشار إليها على أنها الحد العلوي القابل للتصرف.

كفاءة التشغيل: نسبة الكفاءة المحققة إلى كفاءة التصميم.

الفائض التشغيلي: المياه التي تُفقد أو التي يتم التخلص منها من نظام الري بعد أن تم تحويلها عن النظام كجزء من العمليات الطبيعية.

الصمام البستاني: صمام مخرج يتم تركيبه داخل حامل خط الأنابيب مع وجود غطاء يمكن تعديله أو غطاء للتحكم في التدفق، والذي يشبه صمام البرسيم الحجازي ولكن مع سعة التدفق الأقل.

الفوهة: فتحة لها محيط مغلق تتدفق من خلالها المياه. وهناك أشكال محددة من الفوهات تمت معايرتها للاستخدام في قياس معدلات التدفق.

الجهد الأسموزي: كمية الشغل التي يجب بذلها، لكل وحدة من كمية المياه، لنقل كمية متناهية الصغر من المياه من بركة بها مياه نقية، عند الضغط الجوي، إلى بركة بها مياه مساوية في التركيب لمياه التربة (مقتبس من ICID MTD, 1996; SSSA, 2001).

بوابة المخرج: صمام، يكون في العادة صماماً منزلقاً يتحكم في تدفق المياه من مخرج ما.

مخرج: جهاز يتم استخدامه لتوصيل المياه من نظام من الأنابيب إلى الأرض. ومن الممكن أن يتكون مخرج ما من صمام ما، وضاغط رشاش، وأنبوب حامل، و/أو بوابة المخرج.

قائم التدفق الزائد: أنبوب قائم ترتفع فيها المياه والتي توجد عند ارتفاع ما، ومن الممكن أن تزيد التدفق داخل الأنبوب أو الوعاء المحتوي.

الري العلوي: أي عملية ري بالرش يتم فيها إضافة المياه فوق المحصول.

التدفق فوق الأرض: تدفق المياه العنيف فوق سطح التربة قبل أن تكوّن قناة (من ICID MTD, 1996).

سدادة حشو: سدادة تحيط بعمود الإدارة في مضخة الطرد المركزي، والتي تقع عند مخرج العمود من مغلف المضخة الحلزوني، والذي يسمح بدوران العمود بأقل احتكاك وأقل تسريب ممكن في المياه.

بام PAM: انظر البولي كريلمايد.

مسيل بارشال: جهاز معاير يتم استخدامه لقياس تدفق المياه في قناة مفتوحة، والذي يقوم على مبدأ التدفق الحرج. وكان يسمى فيما سبق بقناة فنشوري المحسنة.

التحليل الحجمي للحبيبات: قياس الكميات المختلفة من أجزاء الحجم الجزيئي للجسيمات المختلفة في عينة التربة، عادة عن طريق التسرب أو عملية النخل، أو المقاييس الدقيقة.

أقصى معدل استهلاك: أقصى معدل استهلاك للمياه من قبل النباتات.

طريقة بنمان-مونتيث: طريقة لتقدير معدل البخر-نتح قائمة على صافي الاتزان لتدفقات الطاقة ونقل البخار.

منسوب المياه المعلق: حالة من المياه الجوفية تحدث عندما يكون هناك طبقة غير منفذة فوق طبقة التكوين الحامل للمياه الجوفية الرئيسة ولكن أسفل سطح الأرض. ويتم حصر المياه الجوفية فوق طبقة أخرى غير منفذة، مما يشكل منسوب المياه المعلق. ومن الممكن أن تؤدي إلى الحاجة إلى الصرف المحلي.

بركة التسرب: بركة صناعية يتم إنشاؤها لإعادة ملء (تغذية) طبقة المياه الجوفية عن طريق السماح للمياه بالتسرب من خلال طبقات التربة والحصى. وتتسرب المياه ويتم تنقيتها من الرواسب والكائنات التي تحمل الأمراض أثناء تحركها ببطء نحو طبقة المياه الجوفية.

التسرب: الحركة لأسفل للمياه خلال قطاع التربة أو خلال الأوساط المنفذة الأخرى.

التغليف المثقب: جزء من التغليف الجيد الذي يوجد به فتحات لدخول المياه. انظر المصفاة (١).

مضخة تجميعية: مضخة تضغط السائل من خلال فعل يشبه نبضة قلب حيوان ما.

نقطة الذبول الدائم: محتوى التربة من المياه الذي لا يمكن للنبات الحصول عليه بسهولة والتي سوف تؤدي إلى الذبول الدائم. وأحياناً تسمى النسبة المئوية للذبول الدائم، أو النسبة المئوية الخامسة عشر من الضغط الجوي، أو الحد الأدنى. ويتم تقديرها على أنها محتوى التربة عند -١,٥ ميجاباسكال من الجهد المتري.

النفاذية: (١) من الناحية الكيفية، سهولة اختراق أو مرور الغازات، أو السوائل، أو جذور النباتات من خلال طبقة من التربة أو الوسط المنفذ. (٢) بشكل كمي، خاصية التربة المحددة التي تصف المعدل الذي يمكن أن تتدفق به السوائل أو الغازات من خلال التربة أو الوسط المنفذ.

فينولوجيا: (علم دراسة التغييرات البيئية) وصف لمراحل تطور النبات من خلال تأثره ببيئته.

فرويتوفيتي: نبات يقوم بسحب إمدادات المياه الخاص به من المياه الجوفية (من ICID MTD, 1996).

فينوتبلانكتن : النباتات الصغيرة التي تطفو بهدوء بالقرب من سطح الماء بالمسطحات المائية (مقتبس من ICID MTD, 1996).

فايتوتوكسين: مادة كيميائية والتي عندما يتم إضافتها إلى النباتات النامية من خلال الإنسان أو حاملات الأمراض، فإنها سوف تؤثر سلباً على الصحة.

الضاغط البيزومتري: ضغط المائع عند ارتفاع ما في قناة أو وسط منفذ، والذي يتمثل في الارتفاع الذي سيصل إليه المائع في أنبوب مفتوح أمام المائع عند طرفه السفلي وأمام الغلاف الجوي عند طرفه العلوي.

الري الجراري: أسلوب للري يستخدم القوارير الخزفية غير المطلية المغطاة بدون إحكام لكي تقوم بتوزيع المياه إلى المحاصيل المزروعة بشكل منتشر عن طريق الانتشار

والخاصية الشعرية من خلال الجدران. وعادة، يتم ملء القوارير بالمياه بشكل يدوي، ومن المحتمل أن تكون ذات كفاءة عالية، وتسمى كذلك بالري الأصي.

مقياس بيتوت: جهاز يقيس سرعة تدفق السائل عند نقطة ما، وعادةً ما يكون عبارة عن أنبوب تبلغ عدة ملليمترات في القطر وعدة سنتيمترات في الطول، ولها فتحة في طرفها في اتجاه السريان، بمحاذاة التدفق، وعلى خط السريان يقوم باستشعار الضاغط الكلي، وفتحة أخرى لقياس ضاغط الضغط. ومن الممكن حساب السرعة من فرق الضاغط.

المهاد البلاستيكي أو مهاد الصفحة الورقية: صحائف من المواد البلاستيكية أو العضوية، والتي تكون بشكل عام أكثر ضيقاً من تباعد صفوف المحصول، والتي يتم وضعها على التربة على صفوف المحاصيل عالية القيمة للحد من التبخر، ومنع نمو الحشائش الضارة، و/أو تعمل على تنظيم درجة حرارة التربة. وتسمح الثقوب التي يتم عملها في المهاد على البروز المرغوب للنباتات.

بلايــا: حوض جاف مسطح الأرضية، والمصطف في كثير من الأحيان بالرواسب الناعمة، والتي تقوم بالاحتفاظ بالمياه وتشكل بحيرة مؤقتة بعد سقوط الأمطار، والتي تكون مقصورة بشكل عام على المناطق الجافة (مقتبس من ICID MTD, 1996).

الصفوف المفردة: صفوف المحاصيل التي توجد عند حواف الحقل، والتي بسبب شكل الحقل، تكون أقصر من الصفوف النموذجية، وبالتالي تكون أكثر صعوبة للري باستخدام الري بالخطوط.

بولي كريلمايد (PAM): مادة كيميائية تميل إلى التسبب في تجمع جزيئات التربة، التي تمنع الانجراف المستحث بالمياه، وتعزز عمليات التسرب. ومن الممكن أن يتم إضافتها في مياه الري أو مباشرة إلى التربة.

العمق البركي: عمق المياه التي سوف يتم تسريبها في حدث ما قبل أن تبدأ المياه في تكوين البرك على سطح التربة، بافتراض أن إضافة المياه يكون عن طريق الرش أو سقوط الأمطار.

مؤشر توزيع حجم المسام: وحدات التخزين من مختلف الأحجام من المسام في التربة، والتي يتم التعبير عنها بالنسب المئوية من الحجم الظاهري (من SSSA, 2001).

المسامية: (١) في التربة، النسبة المئوية للحجم من الكتلة الكلية التي لا تشغلها جزيئات التربة. (٢) في طبقة تكوين المياه الجوفية، مجموع الإنتاج النوعي والاحتفاظ النوعي.

الأنابيب المنفذة: الأنابيب التي لها جدران منفذة، والتي تسمح برشح المياه بشكل منتظم تقريباً على امتداد طول أنبوب الري الدقيق.

أنابيب التنقيط المنفذة: أنابيب الري الدقيق التي لها جدار منفذ منتظم. وتكون المسام صغيرة وتعمل على ترشيح المياه تحت الضغط.

الأنبوبة المتنقلة: أنابيب الري، والتي يمكن نقلها بين مواضع أو مجموعات الري، مثل خطوط الرشاشات أو الأنابيب المبوبة.

مضخة الإزاحة الموجبة: مضخة تقوم بتحريك كمية ثابتة من المائع مع كل ضربة أو دوران، من خلال استخدام وسائل مثل المكبس أو الترس، وبالتالي يكون لها معدل تصرف مستقل تقريباً عن ضغط التصرف.

جهد البخر-نتح: المعدل الذي عنده، إذا كان متاحاً، يتم نقل المياه من سطح التربة المبللة وأسطح النباتات عن طريق التبخر والنتح (من ASCE, 1990).

وحدة القدرة: مولد أو محرك يتم استخدامه لتشغيل آلة مثل المضخة.

التساقط الزائد: كمية المطر المتساقط التي تتجاوز الاحتجاز، مثل الاعتراض بسبب تداخل الكساء الخضري، والتسرب، والتخزين في الانخفاضات التي توجد على سطح التربة. وتعتبر بشكل عام معادلاً للجريان السطحي في منطقة ما.

شدة التساقط: معدل سقوط الأمطار، والتي يتم التعبير عنها بشكل عام بوحدات العمق في الزمن.

الزراعة الدقيقة (PA): أي من التنوع في ممارسات الزراعة التي تؤكد على الحاجة إلى مدخلات الإنتاج التي يتم إضافتها بشكل مكاني (حيزي) بكميات صحيحة وفي

أوقات مناسبة للعمل على تعاظم فاعليتها. ومن الممكن أن تتضمن الاختلاف المكاني المقصود في معدلات وضع البذور والكميات المختلفة لمياه الري، والأسمدة، أو مبيدات الآفات في مناطق مختلفة من حقل ما، للحصول على أكبر إنتاج اقتصادي ممكن من هذه المناطق.

التدفق المفضل: التدفق إلى وخلال الوسط المنفذ أو التربة عن طريق التشققات، وفتحات الجذور، والمسارات الأخرى منخفضة المقاومة فضلاً عن التدفق بشكل منتظم من خلال الفتحات التي توجد في الوسط.

الري السابق للزراعة: الري المضاف قبل وضع البذور. ويسمى أحياناً بالري المسبق.

ضاغط الضغط: طاقة الضغط في نظام السائل، والتي تبين أنها ارتفاع عمود المياه فوق حاجز ما.

جهد الضغط: (التربة) انظر الجهد المتري.

معايرة الضغط: أقصى ضغط داخلي مقدر الذي من الممكن بذله بشكل مستمر في أنبوب ما أو خزان ما مع وجود درجة عالية من الثقة في أنه لن تحدث أي أضرار.

منظم الضغط: (١) جهاز لتقليل الضغط والذي يتم تصميمه للحفاظ على ضغط ثابت عند رشاش الري بغض النظر عن التغيرات في الارتفاع في الرشاشات. (٢) جهاز يتم استخدامه للحفاظ على ضغط ثابت مرغوب على خط الأنابيب.

كاسر فراغ الضغط: جهاز يفتح تلقائياً مما يتسبب في دخول الهواء إلى خط الأنابيب وتوقف الطرد العكسي، عند حدوث انحدار ضغط عكسي والذي يمكن بخلاف هذا أن يتسبب في الطرد العكسي نحو المصدر. وهو يختلف عن مكسر الفراغ الجوي عن طريق الحصول على زنبرك لمساعدة الصمام على الفتح مرة أخرى مقابل ضغط الخط الداخلي.

المعالجة الأساسية: المرحلة الأولى من معالجة مياه الصرف الصحي. والتي تعمل على إزالة الحطام والمواد الصلبة عن طريق التصفية والترسيب (من ICID MTD, 1996).

إنتاجية المياه: انظر كفاءة استخدام المياه.

مضخة التجويف المتقدم: نوع من مضخة الإزاحة الموجبة التي يتم استخدامها لنقل الطاقة إلى المائع عن طريق الحركة الدوارة لأنبوب الدافع التي لها شكل خاص داخل التغليف الذي له شكل مناسب.

مضخة مروحية: مضخة تعمل على توليد الضغط بشكل أساسي عن طريق فعل الرفع للمراوح في المياه. انظر مضخة التدفق المحوري.

الخلاطات المتناسبة: حاقن كيميائي يتم فيه حقن كمية من المادة بناء على معدل التدفق من خلال الحاقن. وبالتالي، فإن تركيز المادة الكيميائية المحقونة في المياه يظل ثابتاً.

بروتوزا (أوليات): (المياه) كائنات أحادية الخلية. وبعضها، مثل، جراديا لامبيلا، وج. موريس، من الممكن أن تتسبب في الإصابة بالإسهال للإنسان عندما يتم ابتلاع المثانة الخاصة بها.

الثابت السيكرومتري: نسبة الحرارة المحسوسة إلى الحرارة الكامنة عند ضغط ما: $y = C_P P / 0.622\lambda$، حيث C_p الحرارة النوعية للهواء، و P الضغط الجوي، و λ الحرارة الكامنة للبخار.

عمود المضخة: الأنبوبة التي يتم من خلالها نقل المياه من المضخات التربينية أو المضخات الغاطسة في البئر إلى سطح الأرض.

كفاءة المضخة: نسبة طاقة المياه التي تنتجها المضخة، إلى الطاقة التي يتم تسليمها إلى المضخة عن طريق وحدة الطاقة.

قائم المضخة: بناء يقوم بنقل المياه من المضخة إلى مدخل خط الأنابيب.

مضخة: انظر النوع المحدد من المضخات موضع التساؤل.

نظام الضخ العكسي: المعدات التي تعين على إعادة استخدام مياه الري في حقل ما، عن طريق جمع الجريان السطحي من الحقل وضخه إلى الطرف العلوي من الحقل ليتم إعادة إضافته.

محطة الضخ: بناء كامل لواحدة أو أكثر من المضخات، تعمل مع كل الأجهزة الضرورية مثل وحدات الطاقة، والأحواض المجمعة، والحواجز، والصمامات، ووحدات الموتور، وأجهزة حماية الموتور، والأسوار، وملاجئ وضع الأجهزة.

الحاجز: مصفاة من القضبان المتوازية التي توضع في قناة ما لحجز وإمساك الركام. وتسمى أحياناً بمصفاة الركام.

البوابة القطرية: بوابة تحكم في المياه ذات محور أفقي والتي يكون وجهها في العادة قوساً دائرياً مع وجود مركز الانحناء عند المحور. وتسمى أحياناً البوابة المحللة Taintor.

الإشعاع (فوق الأرضي، السماء الصافية، أو أخرى): العملية التي يتم بها انتقال الطاقة الكهرومغناطيسية عبر الفضاء الخارجي، والتي تختلف عن التوصيل والحمل.

فوهة المدى: واحدة أو اثنتان من الفوهات التي توجد على ضاغط الرشاش المؤثر. والتي تنتج نفثاً متوازياً والذي يعمل على تعاظم نصف القطر المبلل، والذي تقابل الفوهة الناشرة.

مرحلة الانحسار: الفترة الزمنية، أثناء الري السطحي، بعد توقف التدفق وانكشاف سطح التربة أسفل تيار الري، والذي يبدأ عادة من الطرف العلوي للحقل، ولكنه يحدث من آن لآخر عند الطرف السفلي للحقل أو من كلا الطرفين.

بئر التغذية: بئر يتم استخدامه لإضافة مياه سطحية زائدة إلى تكوين المياه الجوفية.

مضخة الغشاء الترددية: مضخة تقوم باستخدام الحركة الترددية للأمام وللخلف للقرص المرن لسحب المائع إلى الداخل من خلال صمام تفتيش واحد ثم تقوم بنفثه عند ضغط أعلى من خلال صمام آخر.

مضخة المكبس الترددية: مضخة تقوم باستخدام الحركة الترددية للأمام وللخلف للمكبس الذي يوجد داخل أسطوانة ما لسحب المائع إلى الداخل من خلال صمام تفتيش واحد ثم تقوم بنفثه عند ضغط أعلى من خلال صمام آخر.

المياه المستصلحة: المياه التي تكون، بعد الاستخدام للأغراض المنزلية، أو الزراعية، أو الصناعية، مناسبة لمزيد من الاستخدام المفيد عن طريق المعالجة الملاءمة.

إعادة التوزيع: حركة المياه داخل قطاع التربة، نتيجة للتدريجات المحتملة، من النقطة التي تبدأ عندها في التسرب إلى التربة.

جهاز التدفق العكسي بالضغط المنخفض: صماما تفتيش يعملان بشكل مستقل ويتم تحميلهما داخلياً واللذان يتم فصلهما عن طريق منطقة ضغط منخفضة، ويتم تركيبهما بين صمامي غلق اثنين في خط ري كيميائي لمنع التدفق العكسي الذي يتسبب فيه الضغط أو الطرد العكسي.

البخر-نتح المرجعي: المعدل الذي تتبخر به المياه والذي يتم نتحه من محصول مرجعي محدد عندما تكون مياه التربة متاحة بسهولة وفي ظل ظروف نمو معينة. ومن الممكن أن يتم تعديل البخر-نتح المرجعي عن طريق المعاملات المناسبة لمحاصيل أخرى والظروف غير القياسية.

الري الناقص المنظم: أسلوب ري يتم فيه فرض ظروف إجهاد مياه للنبات بشكل متعمد أثناء مراحل نمو معينة (والذي يكون في العادة مبكراً في أوائل الموسم) باستخدام عمليات الري اليومية، ولكن تقوم فقط باستبدال جزء من استخدام المياه اليومي للنبات.

نظام تخفيف الصرف: شبكة من المصارف تحت السطحية (المغطاة) التي يتم استخدامها عندما يقوم مصدر المياه الذي يتسبب في حدوث مشاكل في الصرف في إنتاج المياه داخل المنطقة التي يتم حمايتها عن طريق المصارف.

بئر تخفيف: بئر صغير يتم تركيبه في منطقة بها منسوب مياه عال بغرض خفض منسوب المياه، والذي يكون في الغالب جزءًا من آبار متعددة، يتم استخدامها عادةً عندما يكون الحصول على نظم الصرف المغطاة غير متاح.

حراثة الخزان: انظر حراثة الحوض.

المحتوى المائي المتبقي: المياه التي لا يمكن سحبها من التربة عن طريق الامتصاص.

معامل المقاومـــة: حد عملي يوجد في معادلات تقدير الفاقد في الضاغط للتدفق في الأنابيب أو القنوات المفتوحة. وهو يسمح بتعديل التقدير وفقاً لدرجة مقاومة التدفق.

وهو يعتمد في الأساس على خشونة جدران قناة التوصيل، ولكن من الممكن أن يأخذ في اعتباره كذلك التعرجات والعقبات التي توجد في التدفق.

تخزين الاحتجاز: انظر التخزين السطحي.

تدفق العودة: الجزء من المياه التي يتم تحويلها من المجرى المائي والذي يجد طريقه عودة إلى قناة المجرة المائي، إما كتدفق سطحي أو تحت سطحي.

تدفق العودة أو نظام إعادة الاستخدام: نظام من خطوط الأنابيب أو القنوات التي تقوم بجمع ونقل الجريان السطحي أو تحت السطحي من الحقل المروي لأجل إعادة الاستخدام.

المصفاة الدوارة: مصفاة (حاجز) للقمامة توجد على هيئة أسطوانة أو حزام متصل يدور بفعل المياه التي تمر خلالها أو من خلال مصدر آخر للطاقة.

معادلة ريتشارد: معادلة تقوم بوصف التدفق غير المشبع في الوسط المنفذ.

الحامل: (الري بالرش) الأنبوب الرأسي التي يتم استخدامها لربط رأس الرشاش إلى الأنبوب الفرعي، والتي ترفع الضاغط فوق المحصول الذي يتم ريه.

منطقة الجذور: طبقة التربة التي تخترقها جذور النبات بسهولة والتي يحدث فيها النشاط المهيمن للجذور.

مضخة الترس الدوّار: مضخة تقوم باستخدام ترسين دوارين متداخلين لإجبار السائل على المرور خلال الحجرة التي تغلفهما، ثم نفث السائل عند الضغط العالي.

مضخة الفص الدوّار: مضخة تقوم باستخدام فصين دوارين في حجرة لإجبار السائل على المرور من الحجرة عند الضغط العالي.

معامل الخشونة: المصطلح المفضل هو معامل المقاومة.

محصول الصف: محصول، سنوي أو معمر، يتم زراعته في صفوف متباعدة بدرجة كافية لتسمح بالزراعة بين الصفوف أثناء موسم النمو.

الجريان السطحي: الجزء من الأمطار الساقطة، أو ذوبان الجليد، أو الري الذي يتدفق فوق ومن خلال التربة، والتي تسلك طريقها في النهاية إلى أنابيب المياه السطحية.

إنتاج البئر الآمن: كمية المياه الجوفية التي يمكن سحبها من طبقة المياه الجوفية بدون تدريج الجودة أو تقليل مستوى الضخ.

الملوحة: الزيادة في تركيز الأملاح المختلفة في التربة أو المياه. وهو مصطلح يتضمن عادة ضعف استخدام مياه التربة أو المياه، من قبل الإنسان.

التربة المالحة: التربة غير الصوديومية التي تحتوي على الأملاح المذابة، وهي الكميات التي تتداخل مع نمو معظم المحاصيل. ويكون معامل التوصيل الكهربائي لمستخرج التشبع أكبر من ٤ ملليسيمنز/سم (٠,٠١ أوم/بوصة)، والنسبة المئوية للصوديوم التي يمكن مبادلتها تكون أقل من ١٥.

التربة الصوديومية المالحة: التربة التي تحتوي على صوديوم كاف يمكن مبادلته للتداخل مع نمو معظم المحاصيل والتي تحتوي على كميات ملائمة من الأملاح المذابة. والنسبة المئوية للصوديوم التي يمكن مبادلتها تكون أقل من ١٥، ويكون معامل التوصيل الكهربائي لمستخرج التشبع أكبر من ٤ ملليسيمنز/سم.

دالة إجهاد الملوحة: معامل يتم استخدامه لتقليل معامل المحصول في تقديرات البخر- نتح في ظل ظروف إجهاد الملوحة.

التملح: انظر الملوحة.

حوض الملح: المنطقة التي يتم بها تجميد الأملاح، أي إزالتها بشكل دائم تقريباً من النقل مع حركة المياه في الدورة الهيدرولوجية. ومن الممكن أن تتكون الأحواض في طبقات التربة السفلية أو في مناطق المياه الضحلة.

توغل المياه المالحة: اختراق مناطق المياه العذبة، وخاصة في طبقة المياه الجوفية، من قبل المياه المالحة من محيط ما أو منطقة أخرى من المياه المالحة، عندما يكون هناك اتصال هيدروليكي بين المنطقتين ويكون تدرج الضغط مواتياً.

التدفق المشبع: تدفق المياه من خلال المادة المنفذة في ظل الظروف المشبعة.

مصفاة: (١) آبار: بئر صناعي محاط بفتحات دقيقة الأبعاد والشكل (قارن مع التغليف المخرم). (٢) قنوات: جهاز يستخدم لحجز الركام في القنوات المفتوحة.

توغل مياه البحر: انظر تسرب المياه المالحة.

القنوات الثانوية: القنوات الفرعية أو الجانبية.

المعالجة الثانوية: معالجة كيمائية حيوية (بيوكيميائية) لمياه الصرف الصحي، باستخدام البكتريا لاستهلاك الفضلات العضوية. ومن الممكن أن تتضمن استخدام فلاتر الترشيح، والتي تقوم بتنشيط فعل التخلص من الوحل و/أو التطهير بالكلور. والتي تقوم بإزالة المواد الطافية والمواد الصلبة القابلة للترسب ومعظم المواد الصلبة العالقة وBOD (مقتبس من ICID MTD, 1996).

الترسيب: العملية التي يتم بها نقل الأجزاء الصغيرة الصلبة من المواد العضوية أو غير العضوية، الناتجة من انجراف التربة أو تكسر الصخور، والتي يتم نقلها وترسيبها بفعل الرياح، أو المياه، أو الجليد.

حاجز الرشح: لوح حلقي من الخرسانة أو أي مادة أخرى غير منفذة يتم وضعه على السطح الخارجي من قناة توصيل تحت الأرض للعمل على إطالة مسار التدفق وبالتالي تعوق التسرب.

التسريب (الارتشاح): حركة المياه إلى داخل وخلال التربة من القنوات والترع غير المبطنة، أو أبنية تخزين المياه.

المناخ شبه الجاف: المناخ الذي يمتاز بأنه ليس جافاً تماماً ولا رطباً تماماً، وإنما هو حالة متوسطة بين الحالتين. وتعد المنطقة في العادة شبه جافة عندما يتراوح متوسط تساقط المطر بين ٢٥٠ مم (١٠ بوصة) و٥٠٠ مم (٢٠ بوصة) في العام.

الحرارة المحسوسة: (١) الطاقة الداخلية للغاز بالإضافة إلى ناتج الضغط والحجم. (٢) الحرارة الممتصة أو الناتجة من خلال المادة التي لا تمر بعملية تغيير حالتها (نقيض الحرارة الكامنة).

ضاغط الغلق: ضاغط الضغط عند مخرج المضخة والذي ينخفض عنده التصرف إلى الصفر. وهو أقصى ضغط تصل إليه المضخة عند سرعة ما.

الطمي "السلت": (١) نوع من التربة يتكون من جزيئات يتراوح قطرها بين ٢ و٥٠ ميكرومتراً. (٢) المعنى الدارج: ترسبات الرواسب، التي يمكن أن تحتوي على جزيئات تربة من كل الأحجام.

التسلت: انظر الترسب.

التوزيع أحادي الطرف: نمط إضافة المياه حول رشاش منفرد عند قياسه على امتداد نصف قطر واحد. وهو يقترب بشكل شائع من الشكل المثلث أو القطع الناقص.

أنبوب السيفون: أنبوب منحنية خفيفة الوزن قصيرة نسبياً يتم استخدامها لنقل المياه عبر ضفاف القنوات لري الخطوط أو الشرائح.

موقع زراعة محدد: انظر الزراعة الدقيقة.

البوابة المنزلقة: صمام التحكم في الضاغط، الذي ينزلق على قضبان، والذي يتم استخدامه للتحكم في الصرف أو مياه الري.

الترعة المنزلقة الشكل: قناة مفتوحة، والتي يتم استخدامها بشكل نموذجي لنقل مياه الري. ويتم إنشاء هذه القناة عن طريق حفر قناة لها قطاع عرضي منتظم في الأرض، ثم تبطينها عن طريق التغذية بالخرسانة الجديدة في المنزلق والتي تتحرك بشكل متواصل على امتداد القناة. ويتم تكوين بروزات على امتداد جوانب القناة بسمك منتظم وسطح أملس نسبياً.

الخرطوم المسامي: جهاز ري دقيق يتكون من أنبوبة لها جدران مسامية أو بها ثقوب منتظمة التباعد التي تطلق المياه، تحت الضغط المنخفض، كمصدر خطي.

مرحلة التخزين: الفترة، أثناء الري السطحي، التي تلي اكتمال التقدم، والتي يستمر التدفق للداخل خلالها حتى تدخل المياه الكافية التي تعمل على تلبية الاحتياجات الحقلية من المياه ومن ثم يتوقف التدفق للداخل.

التربة الصودية: تربة غير مالحة تحتوي على صوديوم قابل للتبادل بكمية كافية والتي تؤثر بشكل عكسي على إنتاج المحصول وقوام التربة. وتكون النسبة المئوية للصوديوم

القابل للتبادل أكبر من ١٥ ويكون معامل التوصيل الكهربائي لمستخرج التشبع أقل من ٤ ملليسيمنز/سم (٠,٠١ أوم/بوصة).

نسبة ادمصاص الصوديوم (SAR): نسبة أيونات الصوديوم المذابة التي ترتبط بالكالسيوم المذاب وأيونات الماغنسيوم في مستخرج مياه التربة. (من الممكن استخدامها للتنبؤ بالنسبة المئوية للصوديوم القابل للتبادل).

النسبة المئوية للصوديوم: كاتيونات الصوديوم كنسبة مئوية للكاتيونات الكلية في المياه أو محلول التربة.

الخرطوم اللين: (الرشاشات) قناة توصيل، والتي تنهار عندما لا تكون تحت ضغط، ويتم استخدامها لإمداد المياه، تحت الضغط، إلى رشاش متحرك.

تهوية التربة: العملية التي يدخل بها الهواء والغازات أو التي تتبادل في التربة.

كبس التربة: التماسك، والتقليل في النفاذية، وانهيار قوام التربة عندما تكون معرضة إلى الأحمال السطحية.

كثافة تدفق حرارة التربة: معدل أو كمية الحركة الرأسية للحرارة عبر وحدة مساحة من التربة استجابة إلى التدرج في درجة الحرارة. وهو عامل في تقدير اتزان الطاقة لحساب البخر-نتح.

أفق التربة: طبقة من التربة تختلف عن طبقات التربة المجاورة جينياً في الخواص أو الخصائص الفيزيائية، والكيميائية، والحيوية.

قطاع التربة: قطاع رأسي من التربة من السطح خلال كل آفاقها في المادة الظاهرة.

بناء التربة: تركيب أو ترتيب جزيئات التربة الأساسية في الجزيئات الثانوية، أو الوحدات، أو الأقدام التي تكوّن كتلة التربة. والأنواع الأساسية لقوام التربة هي البلاتية، والمنشورية، والعمودية، والتكتلية، والحبيبية.

قوام التربة: تصنيف لأنواع التربة بالنسبة لنسب الرمل، والسلت (الطمي)، والطين الموجودة فيها.

سعة مياه التربة: كمية المياه التي يمكن أن تحتفظ بها التربة والتي تجعلها متاحة لمعظم النباتات، والتي يتم تعريفها عادةً بأنها المياه التي يتم الاحتفاظ بها بين شد رطوبي يتراوح بين -٣٣ كيلوبسكال و-١٥٠٠ كيلوبسكال، وكمية المياه المخزونة في التربة عند السعة الحقلية. والتي تسمى كذلك بسعة المياه المتاحة.

منحنى خصائص مياه التربة: علاقة خاصة بالتربة بين الشد الرطوبي لمياه التربة ومحتوى مياهها.

نقص أو استنــزاف مياه التربة: كمية المياه المطلوبة لرفع محتوى مياه التربة في منطقة الجذور إلى السعة الحقلية.

جهد ماء التربة: كمية الشغل التي يجب بذلها لكل وحدة كمية من المياه النقية للعمل على النقل من الناحية العكسية والناحية متباينة الخواص لكمية لانهائية لتقدير من المياه من بركة من المياه النقية عند ارتفاع محدد عند الضغط الجوي إلى مياه التربة عند النقطة تحت الدراسة.

ضغط ماء التربة: الضغط (موجب أو سالب)، بالنسبة لضغط الغاز الخارجي على مياه التربة، والذي يجب أن يكون محلولاً مناظراً في التركيب من مياه التربة معرض له لكي يكون في حالة اتزان خلال جدار خارجي منفذ مع مياه التربة.

ماء التربة: المياه المخزونة في التربة.

التربة: المعادن غير المتماسكة والمواد التي توجد على السطح الخارجي من الأرض والتي تخدم كوسط طبيعي لنمو النباتات.

الإنتاج النوعي: نسبة حجم المياه المنصرفة من تربة ما أو طبقة مياه جوفية إلى الحجم الظاهر المتصرف عندما يستحث الصرف بالجاذبية من التربة أو طبقة المياه الجوفية عن طريق بئر أو نظام صرف. وسوف يكون الإنتاج النوعي دائماً أقل من أو يساوي نفاذية التربة أو طبقة المياه الجوفية. ويسمى دائماً بالنفاذية القابلة للتصرف.

مفياض: قناة، مصنوعة من شريحة خشبية، أو أنبوب، أو خرطوم، موضوعة عبر ضفة قناة للري للعمل على نقل المياه إلى حقل ما.

صندوق المفياض: بناء لتثبيت القناة.

الري الرذاذي: إضافة المياه عن طريق رذاذ صغير أو ضباب إلى سطح التربة، حيث إن التنقل عبر الهواء يصبح فعالاً في توزيع المياه.

فوهة الانتشار: الفوهة التي توجد على ضاغط الرشاش المؤثر لإضافة المياه بالقرب من الضاغط، في مقابل فوهة المدى.

رأس الرشاش: جهاز يتم استخدامه لتوزيع مياه الري تحت ضغط.

الري بالرش: طريقة للري والتي يتم فيها رش المياه من خلال الهواء إلى سطح الأرض.

نظم الري بالرش

الذراع: رشاشات مرتفعة ناتئة مركبة على قائم مركزي. ويدور ذراع الرشاش حول محور مركزي.

الري المحوري: نظام ري آلي يتكون من خط أنابيب يدور حول نقطة محورية ويكون مدعوماً بعدد من الأبراج ذاتية الدفع. ويتم إضافة المياه إلى نقطة المحور وتتدفق للخارج من خلال خط الأنابيب، مع وجود مخارج موضوعة على امتداد خط الأنابيب.

ركن المحوري: جسر إضافي أو أداة أخرى يتم إضافتها إلى نهاية نظام الري المحوري المركزي الذي يسمح بزيادة نصف القطر الإجمالي أو تقليله بالنسبة لحدود الحقل. ويسمى كذلك بماسك زاوية الركن أو نظام الركن.

الحركة المستقيمة (الحركة الخطية): جهاز ري آلي يتكون من خط رش يدعمه عدد من الأبراج ذاتية الدفع. وتتحرك الوحدة بأكملها في مسار مستقيم بشكل عام وتقوم بري منطقة مستطيلة في الأساس.

الدائم: الخطوط الفرعية تحت الأرض، يتصل بها الحوامل لتصل للرشاشات.

المتنقل (الحركة اليدوية): نظام رش يتحرك عن طريق تفكيك أجزاء الأنابيب، وحملها إلى موقع جديد، وإعادة تركيبها معاً، وهو لا يتطلب أدوات أو معدات خاصة.

رشاش الحركة الجانبية: نظام رش به أنبوب إمداد يتم دعمه على عربات قطر وسحب خفيفة والأنابيب صغيرة القطر، مزود كل منها بعدة رشاشات ضغط.

رشاش البكرة الجانبية: نظام الرش الذي تخدم فيه الأنبوب الفرعية كالمحور لعدد من العجلات. ويتم تحريك النظام عبر الحقل بين المجموعات أو الأوضاع، باستخدام محرك صغير للعمل على تدوير خط الأنابيب.

الوضع الثابت: نظام يغطي الحقل بأكمله بأنابيب ورشاشات بطريقة تسهل عملية ري الحقل بأكمله بدون تحريك أي أجزاء من النظام. ومن الممكن أن تكون متنقلة أو دائمة.

الرشاش المسحوب (حبل الشد): نظام يتم فيه تركيب خطوط الأنابيب الفرعية على عجلات، أو مزالق، ويتم تحريكها من مجموعة إلى أخرى عن طريق السحب في اتجاه مواز تقريباً للخط الفرعي.

نظام خط الجر: رشاش حركة جانبية يتم تصميمه بحيث يمكن للخط الفرعي الرئيس سحب أنابيب جر متعددة صغيرة القطر، والتي تحمل كل منها عديداً من الرشاشات. وهذا التركيب يعمل على زيادة المساحة التي يمكن ريها بكل حركة من النظام. ويسمى أحياناً بالمجموعة الثابتة القابلة للتنقل.

نظام التنقل: رشاش كبير منفرد، يُشار إليه بشكل شائع بالمدفع، ويتم تركيبه على عربة خفيفة متحركة.

نمط الرش: التوزيع المساحي للمياه المضافة من خلال رشاش واحد أو صف من الرشاشات.

الميل المستقر: ميل القناة الأرضية الذي لا يحدث عنده انجراف ولا ترسيب.

مقياس العمل: مقياس مدرج، يكون بشكل عام في الوضع الرأسي، والذي منه يمكن قراءة ارتفاع سطح المياه.

مرحلة: ارتفاع سطح المياه فوق أو أسفل الحد المقرر (خط الإسناد)، وارتفاع العداد.

البوابة الرأسية: صمام يوجد في البناء الذي يغطي المدخل إلى، أو مخرج، خط الأنابيب والذي يتحكم في تدفق المياه إلى أو من خط الأنابيب.

قائم: بناء، يستخدم في الغالب لحماية أو التحكم في التدفق في خط الأنابيب، والذي يتكون من قطاعات رأسية أو من خرسانة يتم صبها في المكان (قائم الصندوق). ومن الممكن أن تخدم كقائم مضخة، أو قائم صمام طافٍ. ومن الممكن كذلك أن يعمل كمصرف أو حاجز للرمال.

الأنبوب القائم: مصرف يتم إنشاؤه من أنبوب رأسي على خط الأنابيب، لتنفيس دفقات الضغط وطرق المياه.

الضاغط الاستاتيكي: طاقة الجهد الناتجة من اختلافات الارتفاع. انظر الضاغط.

السحب الاستاتيكي: المسافة الرأسية بين المصدر وارتفاعات تصرف المياه في بناء المضخة.

التدفق المستقر: تدفق قناة مفتوحة والذي فيه يبقى المعدل ومساحة القطاع العرضي ثابتين مع الزمن عند محطة ما.

تدفق الساق: (١) الأمطار الذي يعترضها الكساء الخضري وتصل إلى الأرض عن طريق التدفق لأسفل السيقان أو جذوع النباتات. (٢) تدفق سائل النبات في خشب النباتات.

بئر التهدئة: أنبوب، أو غرفة، أو مقصورة، لها جدران مغلقة وقاع باستثناء فتحة صغيرة نسبياً والتي يتصل مدخلها بالهيكل الأساسي للمياه لإضعاف الأمواج أو الدفقات وفي نفس الوقت السماح لمستوى المياه داخل البئر بالارتفاع والانخفاض مع حدوث تقلبات رئيسة في الهيكل الرئيس. ويتم استخدامه مع أجهزة قياس المياه لتحسين دقة القياس.

كفاءة التخزين: نسبة العمق المتوسط لمياه الري التي تتسرب ويتم تخزينها في منطقة الجذور إلى العجز أو النقص في مياه التربة، ويتم التعبير عنها بالنسبة المئوية.

التربة الطبقية: أنواع التربة التي تتكون من طبقات، والتي تختلف عادةً في النفاذية والقوام.

إجهاد الري: انظر الري الناقص.

فرع، تفرع: (المعنى الشائع) الحركة الفرعية للمياه خلال التربة من الجزء المبلل من الخط المروي إلى منتصف الجسر. وله أهمية عندما يكون هناك حاجة للري لإنبات البذور.

المناخ تحت الجاف: انظر المناخ شبه الجاف.

المناخ تحت الرطب: الحالة التي توجد في منطقة ما والتي يكون لها، بشكل عام، كمية كافية من الأمطار لدعم كل المحاصيل، ولكن الاختلاف في الأمطار يجعل الري ضرورياً لمنع إجهاد المياه للمحصول. ويتكون الكساء الخضري الطبيعي في مثل هذه المناطق بشكل طبيعي من الحشائش الطويلة. ويختلف تساقط الأمطار السنوي من ٥٠٠ مم في المناطق الباردة إلى ما يساوي ١٥٢٥ مم في المناطق الحارة (مقتبس من ICID MTD, 1996).

الري التحتي: إضافة مياه الري أسفل سطح الأرض عن طريق رفع منسوب الماء الأرضي بالقرب من أو داخل منطقة الجذور.

التدفق المغمور: التدفق خلال أي بناء قياس عمق حرج حيث يكون عمق مياه المصب عالياً بدرجة كافية للتداخل مع إقامة سرعة حرجة عند قطاع التحكم. ويتم التعبير عن الغمر عادةً بأنه نسبة مستوى مياه خلف السريان "المصب" إلى مستوى مياه أمام السريان "المنبع".

المضخة التربينية الغاطسة: نوع من المضخات التربينية الرأسية التي تُدار بموتور كهربي متقارب التقارن والتي تكون مغمورة في بئر أو حوض تجميع مياه مع المضخة.

الري بالتنقيط تحت السطحي: إضافة المياه أسفل طبقة التربة السطحية من خلال المنقطات من الأنابيب البلاستيكية المدفونة، على أن تكون معدلات التدفق بشكل عام في نفس مدى الري السطحي بالتنقيط. وهذه الطريقة لإضافة المياه تختلف عن ولا يجب الخلط بينها وبين الري تحت السطحي حيث يتم ري منطقة الجذور عن طريق التحكم في منسوب الماء الأرضي.

الري السطحي: أي إستراتيجية موسعة من طرق الري والتي يتم فيها توزيع المياه فوق سطح التربة عن طريق التدفق بالجاذبية.

مخرج الأنبوب السطحي: أي مخرج لربط الأنبوب السطحي بالرافع بدون استخدام خرطوم متنقل.

الجريان السطحي: تساقط الأمطار، أو الجليد الذائب، أو الري في وجود زيادة ما يمكن أن تتسرب أو يتم تخزينها في المنخفضات الصغيرة التي توجد في سطح التربة.

الانسداد السطحي: إعادة ترتيب وتوجيه جزيئات تربة منتشرة فوق طبقة التربة السطحية المباشرة عن طريق المياه، مع انسداد المسام السطحية، مما يؤدي إلى تقليل التسرب.

التربة السطحية: الجزء العلوي من التربة، التي يتم تحريكها على نحو طبيعي خلال أعمال الحرث، أو ما يناظرها من العمليات التي تتم في التربة التي يتم زراعتها، والتي تتراوح في العمق بين ١٠ و٢٠ سم (٤ إلى ٨ بوصة). والتي تسمى أحياناً بمنطقة إدارة التربة.

التخزين السطحي: المياه التي يتم الاحتفاظ بها في منخفضات التربة السطحية عندما تتجاوز معدلات إضافة مياه الري أو تساقط الأمطار معدلات التسرب. ومن الممكن أن تنتج مناطق الانخفاض من عمليات الحرث أو عن طريق التغيرات الطبيعية في تضاريس التربة. ويسمى أحياناً بالتخزين المنخفض أو تخزين الاحتجاز.

التسطح: الحركة لأعلى للمياه من منقطات الري الدقيق المدفونة على سطح التربة، في الغالب عندما تتجاوز معدلات الإضافة معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة المحيطة. ومن الممكن أن تعمل على زيادة نمو الحشائش الضارة، وتعمل على تحريك الأملاح إلى السطح، وزيادة تبخر مياه التربة، وزيادة الأمراض الفطرية، ولكنه يكون مناسباً في بعض الأحيان لضمان حدوث البلل الكافي عبر اتساع قاع الإنبات، والتبخر، و/أو النمو السليم للمحاصيل ضحلة الجذور.

صمام توقع الدفق: صمام يفتح عندما ينخفض الضغط لأقل من نقطة مجموعة محددة، والذي يتم تصميمه لتركيبه في خط مجاور وتوفير الحماية لخطوط الأنابيب والمعدات المرتبطة بها من الدفقات التي يمكن أن تحدث عندما تتوقف المضخة فجأة. وتعمل أجهزة تنظيم عمل الصمام على استشعار زيادات (عطل في تشغيل المضخة أو الموجة منخفضة الضغط) موجة الضغط العالي وينفتح توقعاً لموجة عائدة عالية الضغط أو "طرق المياه".

غرفة الدفق: جهاز لحماية نظم الري المضغوط والتي تعمل على إزالة زيادات الضغط الحادة وخلق ضغط سلس أو انسيابي، وتقلبات الضغط الخاضعة للرقابة.

الري النبضي: تقنية للري السطحي يتم فيها إضافة التدفق إلى الخطوط (أو الأقل شيوعاً، إلى الشرائح) بشكل متقطع خلال مجموعة ري واحدة للعمل على زيادة انتظامية التسرب.

سدادة الدفق: جهاز يتم استخدامه في نهاية الخط الفرعي للرش للعمل على إطلاق دفقات عالية الضغط والتي يمكن أن تحدث إذا امتلأ الخط الفرعي بشكل سريع، وبالتالي تمنع من تلف الخط الفرعي.

الاستدامة: من الناحية البيئية، هي سمة من سمات التنمية الزراعية التي تلبي احتياجات الوقت الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال المستقبلية على تلبية احتياجاتها. ومن الناحية الاقتصادية، هي القدرة على تحقيق فائدة كافية للعمل على استمرار العمليات مع مرور الوقت، والتي تتأثر بالسوق، والمشاكل الطبيعية، والتنظيمية، والمادية، والقضايا السياسية.

منحنى ضاغط النظام: وصف بياني للضاغط الكلي المطلوب لتحريك المياه من خلال نظام ضخ كدالة في معدل تدفق المياه.

نظام: اتحاد من عناصر المعدات، والمعلومات التقنية، والبنية التحتية، والتي يكون استخدامها، عندما تعمل معاً، ضرورياً لتحقيق بعض الأهداف بشكل فعال.

نسبة المياه الخارجة من الحقل: حجم الجريان السطحي من حقل يتم ريه إلى حجم المياه التي تصل إلى الحقل.

المياه الخلفية: (١) المياه التي توجد في تيار مائي أو قناة، وتتجه مباشرة إلى المصب. (٢) الزيادة في مياه الري التي تصل إلى النهاية السفلي من الحقل.

تنشوميتر: أداة، تتكون من كأس منفذ ممتلئ بالمياه ومتصل بمانومتر أو مقياس ضغط سالب، ويتم استخدامها لقياس الشد الرطوبي للتربة عند وجود توترات أقل من حوالي ٨٠ سنتيباراً.

المعالجة ثلاثية المرحلة: تنقية متقدمة لمياه الصرف الصحي التي تتجاوز المرحلة الثانوية أو البيولوجية. وتتسبب في إزالة المغذيات مثل الفسفور، والنيتروجين، ومعظم المواد الصلبة العالقة (من ICID MTD, 1996).

عنق: منطقة ضيقة للتدفق في بناء هيدروليكي، مثل مسيل القياس.

النسف: سحب أسطوانة ثقيلة وملساء على امتداد طول الري بالخطوط للعمل على سطح أملس للخط، وبالتالي تعمل على تقليل مقاومة التدفق.

الضاغط الديناميكي الكلـــي: الضاغط المطلوب لضخ المياه من مصدرها إلى نقطة التصرف، والذي يساوي الرفع الاستاتيكي، بالإضافة إلى فواقد الضاغط في الأنابيب والتجهيزات، والزيادة في ضاغط السرعة.

إجمالي المياه القابلة للبخـــر: أقصى عمق للمياه التي يمكن أن تتبخر من طبقة التربة السطحية عندما يكتمل بلل التربة المبدئي.

إجمالي ضاغط السحب: الضاغط المطلوب لرفع المياه من مصدرها إلى خط المنتصف على المضخة بالإضافة إلى ضاغط السرعة، وفاقد الدخول، وفاقد الاحتكاك في خط أنابيب السحب.

المسيل شبه المنحـــرف: بناء للقياس في قناة مكشوفة له جدران جانبية مائلة على الأفقي، ويتم استخدامها لقياس تدفق المياه، باستخدام مبدأ التدفق الحرج.

حاجز المخلفات: مصفاة حجز أو نافذة شبكية عند نقطة مدخل سحب القناة، أو المصرف، أو بناء المضخة بغرض احتجاز الركام.

الري بالتنقيط: طريقة للري الدقيق حيث يتم فيها إضافة المياه إلى سطح التربة على شكل قطرات أو تيارات مائية صغيرة من خلال المنقطات. (المصطلح المفضل هو الري بالتنقيط).

البئر الأنبوبي: بئر مستدير، صغير جداً لدرجة أنه لا يمكن أن يدخل الإنسان، والذي يتم حفره في الأرض لخرق طبقة المياه الجوفية (مقتبس من ICID MTD, 1996).

المضخة التربينية: نوع من المضخات لها واحد أو أكثر من المراحل، والتي تتكون كل منها من دافع على عمود إدارة رأسي، والتي تحاط بريش توجيه ثابت ونظامي في العادة. وهي تدمج بين خصائص تقسيم الطاقة للتدفق المحوري ومضخات الدافع.

التدفق المضطرب: التدفق الذي تتحرك فيه جزيئات المائع بطريقة عشوائية غير منتظمة، والتي يكون فاقد الضاغط بها متناسباً تقريباً مع الأس الثاني للسرعة.

المنقط المضطرب أو منقط المسار المضطرب: انظر المنقط، تجويف.

المحولة: انظر صندوق التوصيل.

مياه التربة غير المتاحة: نسبة المياه المحتجزة في التربة بشكل محكم جدًّا عن طريق التماسك وقوى التربة الأخرى التي لا يمكن امتصاصها من خلال النباتات بشكل سريع بدرجة كافية للحفاظ على النمو، ومحتوى التربة من المياه عند نقطة الذبول الدائم.

الطبقة غير المحصورة: طبقة صخرية مائية يتكون حدها العلوي من مادة طبيعية منفذة نسبياً والتي تقوم بنقل المياه بسهولة وبحصرها. ويكون مستوى المياه في الطبقة الصخرية المائية هو منسوب المياه.

التدفق المنتظم: التدفق في القنوات المكشوفة والتي يكون كل من السرعة والعمق ثابتين في كل قطاع عرضي.

معامل الانتظامية: (١) في الري، خاصية التوزيع المساحي للمياه في الحقل نتيجة لعملية الري. (٢) في أنواع التربة، نسبة حجم الجزيئات D_{60} التي تمر عبر حاجز ما إلى حجم المادة الحبيبية D_{10}.

وحدة السريان: كمية المياه، لكل وحدة من العرض، التي يتم نقلها لكل قطاع شريحة أو حوض أثناء عملية الري. وتسمى أحياناً وحدة عرض التيار.

المنطقة غير المشبعة: جزء من قطاع التربة لا تمتلئ فراغاته بالماء بشكل تام.

التدفق غير المشبع: حركة المياه في التربة والذي لا تمتلئ مسام التربة خلالها بالمياه بشكل تام.

منطقة الرشح: جزء من غطاء الأرض الواقع بين سطحها ومنطقة المياه الجوفية، أو الحجم النشط من الناحية البيولوجية من التربة حيث تنمو معظم جذور النباتات، ويحدث امتصاص السماد والنشاط الميكروبي.

صمام: جهاز للتحكم في التدفق، مثل خطوط الأنابيب. والصمامات التي يتم استخدامها في الأنظمة المضغوطة تشمل:

صمام تنفيس الهواء: جهاز يعمل على إطلاق الهواء من خط الأنابيب بشكل آلي بدون السماح بفقد المياه.

صمام تفريغ الهواء، البخار الهوائي: جهاز يعمل على إطلاق الهواء من خط الأنابيب بشكل آلي بدون السماح بفقد المياه وبدخول الهواء بشكل آلي إذا أصبح الضغط الداخلي أقل من الضغط الجوي.

صمام التفتيش: صمام يتم استخدامه في خط الأنابيب للسماح بالتدفق في اتجاه واحد فقط "صمام عدم الرجوع".

صمام الصرف: (١) آلي: صمام مزود بزنبرك والذي يفتح بشكل آلي ويقوم بتصريف الخط عندما ينخفض الضغط إلى ما يقرب الصفر. (٢) النوع الطارد: صمام يوجد عند نهاية الخط بغرض دفع القاذورات والركام بعيداً. ومن الممكن أن يتم تركيبه في السدادة الطرفية أو الغطاء الطرفي.

صمام القدم: صمام تفتيش يتم استخدامه عند قاع أنبوب السحب للإبقاء على المياه في المضخة عندما لا تكون في موضع التشغيل أو للعمل على منع التدفق العكسي.

صمام تنفيس الضغط: صمام مزود بزنبرك موضوع ليفتح عندما يصل الضغط إلى أعلى بقليل من ضغط التشغيل، والذي يتم استخدامه لتنفيس الضغط الزائد والدفقات الزائدة. انظر صمام تنفيس الهواء.

صمام تنفيس البخار: صمام يتم استخدامه لمنع وجود البخار في خطوط الأنابيب وتجنب انهيار جدار الأنبوب الرفيع.

عجز ضغط البخار: الفرق بين ضغط البخار الموجود فعلياً وضغط الغلاف الجوي المشبع عن نفس درجة الحرارة.

دافع التردد المتغير: وسائل للتحكم في سرعة المضخة، وبالتالي معدل التصرف أو الضغط، عن طريق السماح بتغيير تردد مصدر التيار الكهربائي لمحرك المضخة.

ضاغط السرعة: الضاغط (الطاقة) الناتج عن سرعة المائع المتحرك، والذي يساوي مربع متوسط السرعة مقسوماً على ضعف عجلة الجاذبية.

المهوي (المنفس): جهاز يتم تركيبه في خط الأنابيب يسمح بمرور الهواء إلى أو من خط الأنابيب.

الفنتوري: جهاز لقياس التدفق في القناة المفتوحة به عنق منكمش، وبهذا يمكن الربط بين عمق التدفق والتصرف. (المصطلح المفضل لمسيل فنتوري المحسن هو مسيل بارشال).

نظام حقن فنشوري: نظام يسمح للسائل الذي يحتوي عادة على الأسمدة أو المبيدات الحشرية في المحلول، بأن يتم سحبه إلى مجرى الري الرئيس عند منطقة الضغط المنخفض الذي يتكون عندما يتدفق مجرى الري من خلال الانقباض في الخط.

المضخة التربينة الرأسية: مضخة طرد مركزي لها واحد أو أكثر من الدفاعات التي توجد على عمود الإدارة الرأسي. ويتم تشغيل الدفاعات والتجاويف، والتي يتم في العادة تعليقها أسفل سطح المياه التي يتم ضخها في حوض التجميع أو البئر، عن طريق عمود الإدارة من وحدة الطاقة عند نقطة التصرف.

قارن التزويد: جهاز لربط الأنابيب التي لها نهايات مستوية، عن طريق ضغط طوق مرن بين الأجزاء المعدنية.

التطاير: تحويل السائل أو الصلب إلى غاز، عن طريق التبخر أو التسامي. وتكون أحياناً الوسائل التي يتم بها تحويل تركيزات الملوثات إلى الحالة الأقل ضرراً عن طريق تخفيف البخار في الغلاف الجوي.

الغلاف الحلزوني: التغليف الثابت الذي يدور داخله دافع مضخة الطرد المركزي. والتي يتم تشكيله في المعتاد للمساعدة في تحويل طاقة المدخل إلى ضغط تصرف. ويتم تركيب خطوط السحب والتصرف على الغلاف الحلزوني.

مياه الصرف الصحي: المياه التي تحمل المواد الصلبة المذابة أو العالقة من المنازل، أو المزارع، أو أماكن العمل، أو المصانع (من ICID MTD,1996).

تحسين المياه: (١) سماد، أو مبيد للحشائش الضارة، أو مبيد للحشرات الضارة، أو مادة أخرى يتم إضافتها إلى المياه بغرض تحسين إنتاج المحصول. (٢) المواد الكيميائية لمعالجة المياه للحد من انسداد المنقطات.

كفاءة إضافة المياه: نسبة متوسط عمق المياه المتسربة والمخزونة في منطقة الجذور إلى متوسط عمق المياه المضافة عن طريق الري.

ترشيد المياه: حماية وإدارة الموارد المائية للحصول على أقصى فوائد مستدامة.

كفاءة نقل المياه: نسبة حجم مياه الري التي تصل إلى نظام التوزيع إلى حجم المياه التي يتم تقديمها إلى النظام.

استنـــزاف المياه: استخدام أو إزالة المياه من منطقة ما، مثل حوض تجميع المياه، وبهذا تكون المياه غير متاحة بصورة دائمة لمزيد من الاستخدام.

حصاد المياه: أي ممارسة تعمل على تحسين الجريان السطحي من حوض تجميع المياه أو منطقة الاحتفاظ بالمياه لأجل التجميع والاستخدام المفيد.

التسوية بالمياه: طريق لتدريج الأرض يتم فيها تقسيم الحقول إلى أجزاء، تغمر بالمياه، ويتم كشط المستويات المرتفعة لأسفل حتى تصبح التربة بأكملها أسفل سطح المياه. ويتم استخدامها في المعتاد مع إنتاج الأرز.

إدارة المياه: التخطيط المرسوم، وتوزيع واستخدام موارد المياه، طبقاً للأهداف مسبقة التحديد والتي تأخذ في اعتبارها كلا من كمية وجودة الموارد المائية (مقتبس من ICID MTD, 1996).

الحاقن المدفوع بضغط المياه: جهاز يقوم بحقن المحلول الكيميائي في مجرى الري في خط الأنابيب. وتقوم المياه التي يتم سحبها من الخط الرئيس الذي يوجد فوق منطقة انقباض التدفق بتشغيل توربين صغير أو جهاز مكبس، مما يؤدي إلى تشغيل الحاقن.

حق المياه: الحق القانوني لاستخدام خطوط إمداد المياه، والمستمد من القانون العام، أو قرارات المحاكم، أو التشريعات القانونية.

نشر المياه: (١) إضافة المياه إلى الأرض للعمل على تحسين التسرب والتخزين والمياه الجوفية لأجل عمليات السحب اللاحقة. (٢) شكل خاص من الري السطحي يتم القيام به عن طريق تحويل انسياب الفيضان من القنوات الطبيعية أو المسارات المائية ونشر التدفق فوق المناطق المستوية نسبياً.

كفاءة تخزين المياه: نسبة متوسط عمق مياه الري التي يتم تسربها والمخزونة في منطقة الجذور إلى العجز في مياه التربة.

معامل الإجهاد المائي: معامل يتم استخدامه لتقليل معامل المحصول في تقديرات البخر-نتح في ظل ظروف الإجهاد المائي.

منسوب الماء الأرضي: السطح العلوي للمنطقة المشبعة التي توجد أسفل طبقة التربة السطحية حيث تكون المياه عند الضغط الجوي.

كفاءة استخدام المياه: (١) مؤشر لإنتاجية المياه. (٢) المادة الجافة أو الجزء المحصود من المحصول الذي تم إنتاجه لكل وحدة من المياه المستهلكة. (٣) نسبة المياه التي تم استخدامها بشكل نافع إلى المياه التي تم تسليمها إلى المنطقة التي يتم ريها. (٤) الزيادة

في الإنتاج لكل وحدة زيادة في البخر-نتح (ET) نتيجة للري، أو $WUE_i = (Y_{irr} - Y_{dry})/(ET_i - E_{td})$. (٥) استجابة إجمالي الكتلة الحيوية للمحصول (المادة التي توجد فوق سطح الأرض) التي يتم إنتاجها لكل وحدة كتلة من المياه التي يتم امتصاصها من خلال المحصول.

سعة احتجاز المياه: كمية مياه التربة المتاحة للنباتات. انظر مياه التربة المتاحة.

تغدق المياه: حالة يكون فيها منسوب الماء الأرضي عند أو قريباً من سطح التربة، بحيث تمنع نمو المحصول، أو زراعة المحاصيل غير ممكنة (مقتبس من ICID MTD, 1996).

الإجهاد المائي: عندما تنخفض الموارد المائية المتجددة للدولة لأقل من حوالي ١٧٠٠ متر مكعب للفرد الواحد، فإن بعض المحللين يطلقون على هذه الدولة بأنها تعاني من الإجهاد المائي.

الهدار: (١) بناء يتم وضعه عبر المجرى المائي للتحكم أو لتحويل التدفق. (٢) جهاز لقياس معدل تدفق المياه. ونكون الهدارات "السدود" بشكل شائع حادة القمة أو عريضة القمة مع قطاع عرضي مستطيل، أو شبه منحرف، أو مثلث الشكل. وتشمل الهدارات:

هدار عريض العتبة: هدار لقياس المياه له عتبة عريضة أو مستديرة في اتجاه التدفق.

هدار سيبوليتي: هدار شبه منحرف حاد العتبة له جوانب بميل يساوي ١ (أفقي) إلى ٤ (رأسي).

هدار منضغط: هدار له حواف مواجهة لمنبع السريان حادة بدرجة كافية وسرعة اقتراب بطيئة لتتسبب في انضغاط المياه، ويسمى أحياناً بالهدار حاد العتبة.

هدار مستطيل: بناء لقياس التدفق في القناة المكشوفة والذي يكون له فتحة مستطيلة. وإذا امتدت عتبة الهدار عبر العرض الكلي للقناة، فإنها تنخفض (وتمنع التقلصات الجانبية).

الهدار الانقباضي : لقياس تدفق هدار مع الجانبين تدفق مع جدران القناة، وبالتالي القضاء على الانقباضات من المياه الفائضة.

هدار شبه المنحرف: هدار حاد العتبة له شكل شبه منحرف، انظر هدار سيبوليتي.

هدار مثلث: هدار حاد الجوانب، بزاوية في العادة ٩٠ درجة، هدار بعقدة على شكل حرف V.

ضاغط الهدار: المسافة الرأسية من عتبة الهدار إلى سطح المياه عند الحد الأمامي (المنبع) فوق الهدار، والذي لا يشمل سرعة ضاغط الاقتراب.

بركة أو صندوق الهدار: البركة التي تكونت أمام السريان (المنبع) من الهدار، والذي يتم استخدامه في العادة لتقليل سرعة الاقتراب ولتسمح بالانضغاط الكلي للتدفق لأغراض القياس.

غلاف البئر: الأنبوب التي يتم تركيبها داخل حفرة البئر لمنع انهيار مادة الجدران الجانبية، ولتسليم ولحماية المضخة وعمود المضخة، وللسماح بتدفق المياه من طبقة المياه الجوفية إلى جهة سحب المضخة.

تنمية البئر: عملية إزالة مواد التكوين الناعمة أو المواد التي يتم تقديمها أثناء الحفر من منطقة سحب البئر بغرض التثبيت وزيادة نفاذية منطقة السحب، ومن الممكن أن يعمل على تصفية المواد العائدة.

كفاءة البئر: نسبة الهبوط المقاس في البئر الذي يتم الضخ منه إلى الهبوط النظري. ويتم تقدير الهبوط النظري من بيانات مراقبة البئر المجاور التي يتم الحصول عليها أثناء اختبارات البئر بشكل جيد.

منطقة سحب البئر: الجزء من البئر الذي يحيط بمدخل البئر والذي يتم تعديله عن طريق عمليات إنشاء البئر وعمليات التطوير. ويشمل هذا الحيز الخالي بين مدخل البئر وطبقة المياه الجوفية غير العكرة.

مصفاة البئر: هذا الجزء من غلاف البئر الذي له فتحات تدخل المياه من خلالها. انظر المصفاة والغلاف المثقب.

اختبار البئر: تحديد العلاقة بين إنتاج البئر والهبوط مع الزمن.

إنتاجية البئر: معدل التصرف الذي يمكن الحفاظ عليه من البئر خلال فترة محددة من الزمن. انظر إنتاجية البئر الآمن.

المحيط المبلل: طول الاتصال المبلل بين السائل المتدفق والقناة المكشوفة أو قناة التوصيل المغلقة التي تنقل السائل، والذي يتم قياسه على السطح بزوايا صحيحة مع اتجاه التدفق.

الحجم المبلل: النسبة المئوية لحجم منطقة الجذور الكلي (بالنسبة لمحاصيل الصفوف والمحاصيل المعمرة) التي تتبلل بالري.

نقطة الذبول: انظر نقطة الذبول الدائم.

بعثرة الرياح: انظر البعثرة.

كفاءة الكهرباء إلى المياه: نسبة طاقة المدخل الكهربائية لمضخة يتم تشغيلها بمحرك كهربائي، وإنتاج المضخة وكفاءات المحركات، وكفاءة محطة الضخ الكلية.

تصنيف استخدام المياه لأنواع المسطحات الخضراء (WUCOLS): خطوات عمل تم إجراؤها في كاليفورنيا لتقدير البخر-نتح عبر مدى واسع من النباتات والمسطحات الخضراء والظروف البيئية (Costello and Jones, 1994).

قمة الإنتاج: أقصى إنتاج للمحصول حيث يتم وصول جميع المدخلات إلى مرحلة الكمال، والمزيد من الزيادات في المدخلات لا تؤدي إلى زيادة في كميات إنتاج.

معادلات القصور الذاتي الصفري: تصنيف لمعادلات حركة المائع والتي يتم التخلص فيها من حدود العجلة، وبالتالي تؤدي إلى تبسيط حلول المعادلات.

العوالق: حيوانات صغيرة تطفو بشكل سلبي قريباً من سطح الماء في المستجمعات المائية (مقتبس من ICID MTD, 1996).

المراجع

SABE. 2007. S526.2 JAN2001: Soil and water terminology. S1, Joseph, Mich.: ASABE.

ASCE (ASCE Water Quality Tech. Committee, Kenneth K. Tanji, chair). 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. 2nd ed. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71. New York, N.Y.: American. Soc. Civil Engineers.

Costello, L. R., and K. S. Jones. 1994. WUCOLS Water Use Classification of Landscape Species: A Guide to the Water Needs of Landscape Plants. (Rev ed.). Univ. California Cooperative Extension.

ICID MTD. 1996. ICID Multilingual Technical Dictionary on Irrigation and Drain¬age. Rev. Ed. New Delhi, India: English-French. International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).

SSSA (Soil Science Society of America). 2001. Glossary of Soil Science Terms. Madison, Wisc.: SSSA.

USDA. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook No. 60, USDA.



القائمة الموجزة لمقاييس الري

ألان ر. ديدريك (USDA-ARS، بلتسفيل، ميريلاند)
كينيث هـ. سولومون (جامعة ولاية كاليفورنيا للعلوم التطبيقية، سان لويس أوبيسبو، كاليفورنيا)

ملخص: يوجز هذا الملحق كل مقاييس جمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية ASABE ومقاييس الأيزو ISO المتعلقة بالري والصرف المستخدمين بالتزامن مع الري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الممارسات الهندسية المرتبطة بالري والصرف مشمولة كمرجع، مع الإحالة إلى بعض التقارير التقنية الخاصة بوكالة ISO عندما تكون قابلة للتطبيق. وهناك احتواء لمقاييس ASABE حول الصرف في المراجع حيث إن الصرف، في كثير من الحالات، هو الري ارتباطاً. ويتم التصديق على مقاييس ASABE هذه إذا وافقت المقاييس القومية الأمريكية، وهناك مناقشة لأهمية المقاييس في مجال الري وعرض لمصادر تلك المقاييس في الري.

الكلمات الأساسية: معهد المقاييس القومي الأمريكي (ANSI)، جمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية (ASABE)، جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية ASAE، الصرف، الري، منظمة المقاييس الدولية الأيزو (ISO)، الري الدقيق، الري بالرش، مقياس، المقياسية، الري السطحي.

(١,ب) مقدمة

تقدم المقاييس أحدث الفنون في مواضيعها المعتبرة بها، ومن الممكن أن تكون هذه المقاييس أدوات هامة للأفراد الذين يختارون، ويصممون، ويشترون، ويقيمون معدات أو نظم الري (Solomon and Dedrick, 1995, 2001). ويجب أن يكون الموردون، والمصممون، والمستشارون، والمستخدمون النهائيون على وعي بالمقاييس المتاحة حول المعدات المتعددة والقضايا الإجرائية. وفي تغطية للموضوعات ذات الأهمية لكل من لديه اهتمام بالري، فالمقاييس:

- الاهتمام بالمواد ومتطلبات الإنشاء بالنسبة لوحدات المعدات.
- تحديد المعاملات الرئيسية المستخدمة لقياس أداء المعدات.
- وضع المتطلبات لمستويات الأداء المقبولة أو لأجل قياسها.
- تأسيس طرق الاختبار، وتحليل البيانات، وتفسير الظواهر.
- تأسيس الطرق والمتطلبات لوضع تقارير الأداء.

ومثل هذه الطرق المقياسية تضمن أن البيانات الخاصة بالمنتج قابلة للمقارنة مع المنتجات الأخرى. وبدون تقارير مقارنة الأداء، فإن تقييم واختيار المنتج سوف يتم إعاقته، ولن يكون المصممون واثقين أبداً من أي القيم الهيدروليكية أو الخصائص الأخرى المرتبطة هي التى يجب أن يتم تفعليها في تصاميمهم.

وتعد المقاييس أموراً هامة لكل من الموردين والمستهلكين، وتستخدم هذه المقاييس للتحديد أو للتقييم المسبق للمعدات التى سيتم التفكير في شرائها. وعبارات المقاييس التى تعمل على تفسير البيانات تعمل على توفير الأساس للفهم العام لتقييم الأداء ولمعايير التصنيف، وإن استخدام المقاييس لتوجيه قرارات الشراء تعمل على توفير مستوى ما من الحماية للمستخدمين والموردين، ويطمئن المستخدمون على أن أدنى مستوى أداء ومعايير السلامة يتم تحقيقه من خلال موافقة المنتجات للمقاييس.

وتوفر مقاييس التقييم الميداني، والقبول الحماية لكل من المورد والمستهلك ضد إما قبول البضائع التى لا تتفق مع أعلى المقاييس أو الرفض الخاطىء لبضائع يمكن القبول بها. وتساعد مقاييس التقييم الميداني مستشاري الري والمستخدمين على تحديد وتقييم المشكلات واقتراح الأسباب المحتملة.

ويجب أن يشارك مجتمع الري ويراقب بعناية عملية تطوير المقاييس. والمقاييس التي تعد بشكل جيد مفيدة جداً، ولكن المقاييس رديئة المستوى في الإعداد أو المقاييس عتيقة الطراز يمكن أن تؤدي إلى مشكلات خطيرة. ويجب أن تركز المقاييس على النتائج المطلوبة، وليس على كيفية تحقيقها. إن تعيين "كيف" يمكن أن يؤدي إلى تصميم محدود اللغة بشكل استثنائي أو الابتكار في التصنيع أو منع الأنواع بأجمعها من الخيارات "غير القياسية" لتحقيق النتائج الضرورية. فعلى سبيل المثال، إذا كان هناك مقياس محدد في تركيب خط فرعي/رشاش موضوع داخل الخط، فإنه من الممكن أن يستثني احتمالية تركيب رشاشات على الخط، أو الخطوط الفرعية التى بها رشاشات متكاملة، أو منتجات الأنابيب المنفذة.

ويجب أيضاً توخي الحذر في تحديد طرق القياس للعمل على تجنب الطرق التى يمكن أن تكون غير ملائمة لأنواع من المنتجات، و/أو باهظة التكاليف بدرجة شديدة بحيث لا يمكن استخدامها، و/أو أن المتطلبات من الممكن أن تكون غير دقيقة أو غير مستساغة فنياً بدرجة كبيرة. فعلى سبيل المثال، من الممكن أن تعمل المواصفة على وجوب أخذ قياس الضغط عند مسافة على الأقل ١٠ أقطار خلف السريان بعيداً عن إزعاج التدفق، حيث إنه بخلاف هذا، تكون القراءات التي يمكن الاعتماد عليها غير ممكنة. وإن طريقة قياس الضغط (بالمانومتر أو غيره من أجهزة القياس) يجب أن تكون متروكة لجهاز الاختبار، وأي جهاز به دقة ضرورية (محددة في مقياس طريقة الاختبار) يجب أن تكون مقبولة.

وإن أفضل حماية ضد المقاييس غير الملائمة هى المشاركة النشطة للخبراء الذين يتمتعون بدراية كبيرة وباطلاع واسع على الوثائق في كل مراحل التطوير والتي تشمل المراجعات الدورية التى يتم القيام بها على الأقل كل خمس سنوات.

(٢,ب) مصادر المقاييس

(١,٢,ب) جمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية (ASABE)

إن جمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية ASABE هي منظمة تعليمية وعلمية مكرسة للعمل على تقدم الهندسة التى يمكن تطبيقها على النظم الزراعية، والغذائية، والبيولوجية، وتم تأسيسها عام ١٩٠٧م تحت اسم جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية ASAE ومقرها الرئيسي في سان جوزيف، وميتشجان، وهى تتألف من ٩٠٠٠ عضو في أكثر من ١٠٠ دولة. وجمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية ASABE هي المنظمة الرئيسية داخل الولايات المتحدة المتخصصة لمقاييس الري (ASABE) ويعد تطوير المقاييس منطقة أولوية رئيسية لدى ASABE للمساعدة على تلبية أهداف المجتمع للعمل على تقدم النظرية وممارسة الهندسة في النظم الزراعية، والغذائية ، والبيولوجية. وعرض ستيتسون (1982) Stetson تاريخ المقاييس داخل ASABE.

ويقود الجمعية مجلس أمناء مكون من ١٤ عضواً ويعمل على ضمان تحقيق الجمعية لمهامها. وتنفذ أنشطة الجمعية عن طريق مجالسها الأربعة: العضوية، والاجتماعات، والنشر، والمقاييس، مع مدخلات من ثمانية فروع أو معاهد، والتي تمثل المجالات التقنية المتخصصة في ASABE ويقوم قسم التربة والمياه، أحد الفروع الثمانية، بتطوير معظم المقاييس والممارسات الهندسية المتعلقة بالري والصرف. ويتكون فرع التربة والمياه من ست مجموعات فنية، من بينها مجموعة الري (SW-24). وتنقسم المجموعة إلى لجنة إدارية وست لجان فنية. وتعمل لجنة مقاييس التربة والمياه (SW-24) على توفير نظرة شاملة وعلى تطوير كل مقاييس التربة والمياه.

ويعد تطوير المقاييس مسئولية إحدى المجموعات الفنية، مثل SW-24. وهى تقوم بتحديد ما إذا كان المقترح داخل نطاق اهتمام الفرع، ويجب أن يتم إعداد مسودة في ضوء المقاييس الموجودة، وتعد منظمات تطوير المقاييس الأخرى (SDOS) هيئات مرتبطة بالأنشطة المقترحة. وإذا كان المقياس مستحقاً، فإن المجموعة الفنية تقوم بالتعهد بالمسئولية لتطوير مسودة مقياس، وفي العادة اللجنة الفنية، وتتأكد من أن تقوم المجموعة الفنية بإكمال المهمة بأسلوب زمني، وفقاً لخطوات تطوير المقاييس (ASABE, 2005).

(٢,٢,ب) معهد المقاييس القومي الأمريكي (ANSI)

يعد معهد المقاييس القومي الأمريكي ANSI منظمة قومية تقوم بتنسيق التطوير التطوعي للمقاييس القومية وتطبيق معايير تطوير المقاييس المجمع عليها، ويعد ANSI منظمة خاصة غير هادفة للربح تم تأسيسها في الأصل عام ١٩١٨م مثل لجنة المقاييس الهندسية الأمريكية (Dedrick,1982). ومن خلال دوره التنسيقي، وعن طريق وضع الخطوط الإرشادية لخطوات وضع المقاييس المنتظمة، فإن ANSI يضيف المصداقية إلى برنامج وضع المقياس القومي الخاص بنا. وهو يضمن أنه تم الوصول إلى الإجماع وتم إعداد المقاييس باستخدام العملية الملائمة، ويتطلب ANSI أن يكون لكل المصالح القومية المعنية الفرصة للمراجعة أو للتعليق على الوثيقة، ومن بينها حق اتخاذ إجراء الاستئناف عند مستويات مختلفة من المراجعة.

ولا يقوم معهد المقاييس القومي الأمريكي (ANSI) بتطوير المقاييس، وإنما تقوم جمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية ASABE والمنظمات المماثلة بتطوير المقاييس لمناطق الاهتمام والمجالات الخاصة بها. ويجيز معهد المقاييس القومي الأمريكي لجمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية ASABE والمنظمات المماثلة أن تقوم بتطوير المقاييس القومية الأمريكية، وتشمل الإجازة المراجعات الدورية للتحقق من الملاءمة للعمل على وضع خطوات العمل. وإن المقاييس التي تم تطويرها عن طريق المنظمات المجازة يمكن أن تصبح المقاييس القومية الأمريكية بمجرد

أن يـذكر ANSI أن التطـوير تم وفـق الخطـوط الإرشـادية الإجرائيـة للمعهـد (Dedrick,1982). ويعمـل ANSI علـى المساعدة علـى تجنـب النـزاع، والتـداخل، والتكرار الذي يمكن أن ينتج إذا قامت المنظمات بتطوير المقاييس بشكل مستقل.

وإن معهـد المقـاييس القـومي الأمريكـي (ANSI) هـو ممثـل الولايـات المتحـدة في المنظمة الدولية لوضع المقاييس (ISO) وهو يمنح الترخيص لتمثيل الولايات المتحدة في اللجان الفنية المتنوعة و اللجان الفرعية التى تقوم بتطوير المقاييس الدولية. و قد رخص معهد المقاييس القومي الأمريكي (ANSI) بأن تقوم مؤسسة الـري[1] (IA) بتمثيـل دور الولايات المتحدة في اللجنة الفنية بالمنظمة الدولية لوضع المعـايير (ISO) ٢٣، واللجنـة الفرعية ١٨ (ISO/TC23/SC/8). و ISO/TC23/SC18 هى المجموعة الأساسية المسئولة عن تطوير مقاييس الري و الصرف بالمنظمة الدولية لوضع المقاييس ISO.

(٣,٢,ب) المنظمة العالمية لوضع المقاييس (ISO) (الأيزو)

إن منظمة الأيـزو ISO هـى وكالـة دوليـة لوضـع المقـاييس، ومقرهـا الرئيسي في جنيف، بسويسرا. وأعضاء منظمة الأيزو ISO هم هيئات المقاييس القومية (مثـل معهـد المقـاييس القـومي الأمريكـي ASNI بالولايـات المتحـدة) في حـوالي ٩٠ دولـة (Dedrick,1986). وأهداف منظمة الأيـزو ISO هـى التقـدم في وضـع المقـاييس في شتى أنحـاء العـالم، والعمـل علـى تـسهيل التبـادل الـدولي للبـضائع والخـدمات، والترويـج للتعاون في مجال النـشاط الفكـرى، والعلمـي، والتكنولـوجي، والاقتـصادي. وتـشتمل منظمة الأيزو ISO على مـا يزيـد علـى ٢٠٠٠ لجنة فنية، ولجان فرعيـة، ومجموعـات عاملة. ويقدم ديدريك (١٩٨٦و١٩٨٢) خلفية إضافية حول منظمة ISO.

---

(١) يعـد معهـد الـري (IA) منظمـة تجارية والتـى تمثـل عـضويتها الداخلية أفرعـاً كثيرة مـن مجتمـع الـري في الولايات المتحدة (IA, 2005). ويشمل الأعـضاء مصنعي المعدات، والموزعين والتجار، والمقـاولين، والمستشارين والناصحين، والأعضاء الفـرديين، والـذين يشملون ممثلي الجامعـات، وممثلي الوكـالات المحلية، ووكالات الولاية، والوكالات الفيدرالية الحكومية.

وتعد ISO/TC23/SC/8 لجنة فرعية لوضع مقاييس الري و الصرف. واستعرض بنكافا (1986) Penkava التاريخ المبكر للجنة الفرعية ١٨. تشتمل الدول النشطة في اللجنة الفرعية ١٨ عبر السنوات على إسرائيل، وفرنسا، والولايات المتحدة، وكندا، وإسبانيا، والمجر، والمكسيك. ومن الدول الأخرى التى شاركت في الماضي بلجيكا وجمهورية الصين الشعبية والدنمارك، وألمانيا، وإيطاليا، والمملكة المتحدة. وقد ترأس المجلس واجتماع SC18 حملة إسرائيل. وقد تم وضع عدد من مقاييس منظمة ISO بناءً على مقاييس ASAE/ ASABE.

(٣,ب) مقاييس الري

يحدد هذا الجزء مقاييس جمعية المهندسين الزراعيين والبيولوجيين الأمريكية ASABE، ومقاييس المعهد القومي الأمريكي (ANSI)، ومقاييس المنظمة الدولية (ISO) التى تتعلق بالري والصرف، ويشمل برنامج وضع المقاييس بمنظمة ASABE الممارسات الهندسية، وتعريف الأنواع كما يلي (ASAE,2005):

المقياس: مصطلح محدد، أو وصف، أو معيار أداء، أو إجراء يوفر إمكانية التبادل، وتعزيز الجودة، والسلامة، أو الانسجام الاقتصادى، و/أو توفير النموذج أو المثال الصحيح والكافي. ويمكن أن تشمل المقاييس (١) التعريفات، والمصطلح، والرموز البيانية، والاختصارات، (٢) معايير أداء المواد، أو المنتجات، أو النظم، (٣) خطوات الاختبار، و/أو (٤) المواصفات أو المعايير التى تتعلق بالحجم، والكتلة، ... إلخ.

الممارسة الهندسية: ممارسة، أو خطوة عمل، أو توجيه مقبول أنه ملائم، وصحيح، ومرغوب لأجل الاستخدام العام في التصميم، أو التركيب، أو استخدام النظم، أو مكونات النظام، والتي تقوم على المعرفة الحالية والأكثر حداثة.

ومقاييس ASABE والممارسات الهندسية متاحة من خلال الاتصال بالجمعية على الرابط (www.asabe.org). وتكون المقاييس الدولية متاحة من خلال ANSI (www.ansi.org) أو الأيزو (www.iso.org).

وكل المقاييس، أو الممارسات الهندسية، أو التقارير الفنية التى تتعلق بالري أو الصرف والمستخدمة مع الري سيتم تحديدها في الجداول التالية. وتذكر البيانات تقريراً عن الوضع في شهر فبراير، ٢٠٠٦. ويتم توجيه القارئ إلى المنظمات المختلفة المذكورة سابقاً لمزيد من البيانات التفصيلية، التي تدور إما حول كل المقاييس المحتواة، أو المقاييس المتاحة حالياً والمنشورة حول الري، أو عملية وضع المقاييس التى يتم استخدامها داخل كل منظمة.

إن كل مقياس، أو ممارسة هندسية، أو تقرير فني يتم تحديده من خلال المنظمة التى تقوم بالتطوير تستخدم الرقم، أو التاريخ، أو العنوان، أو الوصف الموجز، أو المجال. وتقوم منظمة ASABE[٢] باستخدام تركيب الشهر/ العام للتاريخ (مثلاً، ديسمبر ٢٠٠١)، في حين أن منظمة ISO تستخدم العام فقط. إن اختيار ANSI لمقياس ASABE يوضح أنه تم التصديق على المقياس من خلال ANSI كمقياس قومي أمريكي (مثلاً ANST/ ASABE S261.7 DEC01 مقياس رقم ٢٦١,٧ ديسمبر ٢٠٠١) و حرف "r" في اختيار Sxxx.r لمقاييس ASAE/ ASABE يوضح رقم المراجعة.

نظم الري (الجدول رقم ١,ب)، ومقاييس الري السطحية (الجدول رقم ٢,ب)، ومقاييس تقوم الجداول المذكورة لاحقاً بذكر مقاييس الري التى يمكن تطبيقها على عديد من أنواع الري بالرش (الجدول رقم ٣,ب) ، ومقاييس الري الدقيق (الجدول رقم ٤,ب)، ومقاييس الصرف المستخدمة مع نظم الري (الجدول رقم ٥,ب).

---

(٢) كل المقاييس التي تم تطويرها على أنها مقاييس ASAE سوف تستمر في الاعتبار على أنها خاصة بمنظمة ASAE، حتى لو تم مراجعتها. وكل المقاييس الجديدة (post July, 2005) سوف يتم اعتبار أنها خاصة بمنظمة ASABE.

الجدول رقم (١.ب). مقاييس الري العامة التي يمكن تطبيقها على أنواع نظم الري المتعددة.

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ANSI /ASAE S261.7 DECD تصميم و تركيب نظم أنابيب الري بالخرسانة غير المسلحة	هو المقياس الذى يعمل كمرشد للمهندسين في مجال تصميم وتركيب خطوط أنابيب الري من الخرسانة غير المسلحة منخفضة أو متوسطة الضغط ولإعداد مواصفات تفصيلية لحالة التركيب المحددة. وهو مقتصر على خطوط الأنابيب التى بها فتحات أو قوائم مفتوحة على الغلاف الجوي أو خطوط الأنابيب المغلقة التى تعمل عند ضاغط أقل من ٦ م.
ASAE EP267.7 FEB03 منع مشكلات البعوض المرتبطة بنظم الري والصرف.	ينصح بتطبيق المبادئ والممارسات التالية لمنع مصادر إنتاج البعوض (أي، مواطن تكاثرها) المرتبطة بنظم الري والصرف التي توجد في المناطق الرطبة، وشبه الجافة، والجافة. وبالرغم من أن هذه الممارسات تنطبق على أنواع البعوض، إلا أن الأنواع المستهدفة الأساسية هى تلك التى تنقل الأمراض إلى البشر والحيوانات. ويتم توجيه المعلومات المذكورة هنا نحو الممارسات الهندسية. وتعد مقاييس التحكم الكيميائية والبيولوجية أيضاً جزءًا من برنامج تحكم كامل، وأكثر اكتمالاً، والمعلومات التفصيلية حول استخدامهم يجب الحصول عليها من المصادر المناسبة.
ASAE EP329 MAR02 خدمة التوزيع في المناطق الريفية عن المولدات والمحولات أحادية الطور	تتعلق هذه الممارسة الهندسية بمحرك بقوة ٣,٧ كيلووات ومحركات أكبر أحادية الطور، والمحركات ثلاثية الطور التى بها محولات طور، والتى تبدأ بشكل غير متكرر (عامة تبدأ بأقل من ٦ في فترة ٢٤ ساعة وليس أكثر من ١ بين ٦ مساءً ومنتصف الليل) والتى تخدم الأحمال التي لها متطلبات طاقة غير متذبذبة. ومن بين بعض الأمثلة المحركات التي تقوم بتشغيل المراوح المركبة على مجففات المحاصيل، وطاحونات الأغذية، ومفرغات التربة، ومضخات الري، ومغذيات مثقاب الأرض.
ANSI/ASAE S362.2 FEB04 تصميم، وتركيب، وأداء خطوط أنابيب الري المصنوعة من البلاستيك الحراري التى توجد تحت الأرض	يتم تطبيق هذا المقياس على خطوط الأنابيب المصنوعة من البلاستيك الحراري تحت الأرضية التى يتم استخدامها في نقل مياه الري إلى نقطة التوزيع ومن الممكن أن تنطبق على نظم المياه المتنقلة أو لا. إن مواد الأنابيب البلاستيكية التى هناك اهتمام بها في المقياس تشمل كلوريد البولي فنيل (PVC) والبولي المكلور (كلوريد الفينيل) (CPVC) والبولي إثيلين (PE).

تابع الجدول رقم (١ ,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ANSI/ASAE S397.2 EB03 الخدمات الكهربية ومعدات الري.	يقوم هذا المقياس بتوفير وثيقة للاستخدام من قبل كل هؤلاء المتضمنين في نظم الري الكهربية. وهو ينطبق على خدمة الأطوار الثلاثة، أو ٢٤٠ فولت، أو ٤٨٠ فولت بالنسبة لمحركات مضخات الري، وماكينات الري، ومعدات الترفيه.
ASAE EP 400.2T [٣]JAN94 تصميم وإنشاء آبار الري.	هذه الممارسة التكرارية يتم توجيهها للآبار التى يتم إنشاؤها للحصول على مياه أرضية لأغراض الري، ولكن، كثير من التفاصيل المعروضة في هذا المصدر تكون مناسبة أيضاً للآبار المنزلية، والبلدية، والصناعية، وهي تعمل كمرشد لإعداد مواصفات إنشاء بئر الري.
ASAE EP 409.1 FEB04 أجهزة السلامة للري الكيميائي.	تقوم هذه الممارسة الهندسية بتحديد أجهزة السلامة الضرورية ليتم استخدامها عند القيام بحقن الكيماويات السائلة في نظم الري من مصدر مياه ري مخصص لهذا. وتقوم هذه الممارسة الهندسية بوصف أجهزة السلامة التى سوف تمنع ثلاثة أخطار محددة: (١) الغلق غير المتوقع لمحطة ضخ الري الناتج عن عطل ميكانيكي أو كهربي في حين لا يتم إضعاف عمل المضخة، و(٢) تعطل غلق محطة الضخ في الوقت الذى تستمر فيه معدات الحقن في العمل، و(٣) توقف نظام الحقن الكيميائي في الوقت الذى تستمر فيه مضخة الري في العمل. وليس من المقصود أن تنطبق هذه الممارسة الهندسية على نظم الري المتصلة بنظام عام أو خاص لتوزيع المياه يتم استخدامه كمصدر للمياه البلدية، أو الصناعية أو السكنية.
ASAE S941 FEB03 الرموز البيانية لتصميم نظام الري المضغوط	الغرض من هذا المقياس وضع مجموعة من الرموز التى تمثل مكونات المعدات والتى يمكن استخدامها في تصميم وتخطيط نظم الري المضغوطة.

(٣) إن تصنيف العمليات "التكرارية" يمكن تعيينه لمقياس جديد، وإذا كان يوجد تبرير كاف للموافقة فإن هذا يوفر التوضيح والعرض للتغيرات الثانوية. وسوف يتم استخدام التصنيف التكراري عندما تكون إعدادات المقياس قائمة على تكنولوجيا جديدة يمكن أن توجد فيما وراء أو تؤدي إلى الحالة الحالية للمقياس، أو عندما يكون وجود بعض "المعدات" التى من المطلوب أن تتوافق مع المقياس غير متاح بسهولة.

تابع الجدول رقم (١ ,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ASAE EP505 APR04 ممارسات القياس ووضع التقارير بالنسبة لمحطات الطقس الزراعي الأتوماتيكية	تقوم هذه الممارسة الهندسية بوضع أدنى حد من التوصيات لخطوات عمل المقياس، ووضع التقارير، وتحديد المواضع، والتشغيل، والصياغة، وإدارة المعلومات بالنسبة لمحطات الأرصاد الزراعية الأتوماتيكية. وهو ينطبق على محطات الأرصاد الآلية التي يتم تركيبها بشكل منفرد، أو كجزء من شبكة عمل من المحطات، لأقل قياس ووضع تقارير متغيرات طقس محددة في البيئات الزراعية والتى تشمل مجموعة مركزية موصى بها من القياسات واعتبارات تحديد المواضع العامة لأجل محطات الطقس الزراعي.
ISO 7714:2000 معدات الري الزراعي-الصمامات الحجمية-المتطلبات العامة وطرق الاختبار	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد المتطلبات العامة وطرق الاختبار للصمامات الحجمية القادرة على تسليم كميات مسبقة التحديد بشكل أتوماتيكي من المياه. وهو يقبل التطبيق على الصمامات التى يتم دفعها عن طريق ضغط خط الأنابيب والتدفق وحده، والتى لا تحتاج إلى أي مصدر آخر من الطاقة.
ISO/TR 8059:1986 معدات الري-نظم الري الأتوماتيكية-التحكم الهيدروليكي	يتعامل هذا التقرير الفني (TR) مع نظم الري الأتوماتيكية التى تقوم على الأجهزة الهيدروليكية لتى تقوم فقط باستخدام الطاقة التى يمكن الحصول عليها من المياه التى توجد في نظام الري، والذى يقدم التعريفات الرئيسية وتصنيف هذه النظم، والتى تنطبق على نظم التحكم الأتوماتيكية، والتى يتحقق التحكم في المياه بها عن طريق وسائل قياس كمية المياه.
ISO 9625:1993 تجهيزات الوصلات الميكانيكية التى يتم استخدامها مع أنابيب الضغط المصنوعة من البولي إيثيلين لأغراض الري	يقوم هذا المقياس بتحديد متطلبات وطرق قياس التجهيزات الميكانيكية التى يتم استخدامها لربط أنابيب الضغط المصنوعة من البولي إيثيلين (PE) والتى يتم استخدامها في نظم الري فوق السطحية وتحت السطحية لنقل المياه عند درجات حرارة تتجاوز ٤٥ درة سيلزيوس. ولا ينطبق هذا المقياس الدولي على التجهيزات المستخدمة في نظم الري بالتنقيط.

تابع الجدول رقم (١,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ISO 9635:1990 معدات الري–صمامات الري التى يتم تشغيلها هيدروليكياً	يقوم هذا المقياس بتحديد متطلبات الإنشاء والأداء وطرق الاختبار بالنسبة إلى الصمامات التى يتم تشغيلها هيدروليكياً، والتى تستخدم للتشغيل في نظم الري التى يمكن أن تحتوي على أسمدة وكيماويات من الأنواع والإنشاءات التى يتم استخدامها في الزراعة.
ISO 9644:1993 Amd 1:1993 معدات الري الزراعي–خسائر الضغط في صمامات الري–طرق الاختبار	يقوم هذا المقياس بتحديد طريقة الاختبار لتحديد الفقد في الضغط في صمامات الري في ظروف الحالة الثابتة عندما تتدفق المياه خلالها. وتعد مواصفات أداء الصمام المعروضة هي من نفس المجال والدقة للعمل على مساعدة مصممي نظم الري عند مقارنة خسائر الضغط من خلال أنواع مختلفة من صمامات الري.
ISO 9911:1993 معدات الري الزراعي–الصمامات البلاستيكية الصغيرة التى تشغل يدوياً	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد المتطلبات العامة وطرق الاختبار للصمامات البلاستيكية الصغيرة التى يتم تشغيلها يدوياً واستخدامها لتشغيل نظم الري الزراعي.
ISO 9912-2:1992 معدات الري الزراعي–المرشحات–الجزء٢ : المرشحات من نوع المصفاة	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو٩٩١٢ بتحديد متطلبات الإنشاء وطرق الاختبار بالنسبة للفلاتر الأتوماتيكية ذاتية التنظيف من نوع المصفاة والتى تستخدم للتشغيل في نظم الري الزراعي. وهو لا يقوم بتغطية جوانب القدرة على التسرب، والكفاءة، والسعة.
ISO 9912-3:1992 معدات الري الزراعي–المرشحات–الجزء٣: المرشحات المنخلية ذاتية التنظيف	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو٩٩١٢ بتحديد متطلبات الإنشاء وطرق الاختبار بالنسبة للفلاتر الأتوماتيكية ذاتية التنظيف من نوع المصفاة والتى تستخدم للتشغيل في نظم الري الزراعي. وهو لا يقوم بتغطية جوانب القدرة على التسرب، والكفاءة، والسعة.
ISO 9952:1993 معدات الري الزراعي–صمامات التفتيش	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد متطلبات الأداء والإنشاء وطرق الاختبار لصمامات التفتيش والتي تستخدم للتشغيل في نظم الري الزراعي التى من الممكن أن تحتوي على أسمدة وكيماويات من أنواع مختلفة وفي الإنشاءات المستخدمة في الزراعة.

تابع الجدول رقم (١,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ISO 10522:1993 معدات الري الزراعي-توجيه صمامات تنظيم الضغط	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد متطلبات الأداء والإنشاء وطرق الاختبار للقيام بتوجيه صمامات تنظيم الضغط التى تستخدم للتشغيل في نظم الري التى من الممكن أن تحتوي على الأسمدة والكيماويات من أنواع مختلفة وفي الإنشاءات شائعة الاستخدام في الري الزراعي.
ISO 11419:1997 معدات الري الزراعي-صمامات إطلاق الهواء من النوع الطافي	يقدم هذا المقياس الدولي المتطلبات البنائية والتشغيلية وطرق الاختبار لصمامات إطلاق الهواء من النوع الطافي التى يتم استخدامها في تشغيل نظم الري التى من الممكن أن تحتوي على كيماويات من أنواع مختلفة وفي الإنشاءات التى تستخدم بشكل عام في الري.
ISO 11678:1996 معدات الري الزراعي-أنابيب الري من الألمونيوم	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد أقل خواص مطلوبة وطرق الاختبار اللازمة لأنابيب الألمونيوم التي يتم استخدامها في نظم الري الزراعي لنقل المياه لأغراض الري. وهو ينطبق على أنابيب التحريك اليدوي والأنابيب المسحوبة، وفي الأنابيب التي تستخدم في أعمال التركيب الثابتة والمؤقتة.
ISO 11738:2000 معدات الري الزراعي-ضواغط التحكم	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد متطلبات المكونات وطريقة تركيب ظاغط التحكم في نظام الري المضغوط والذى له حجم اسمي يصل حتى ويحتوي على ٢٠٠ مم. ويكون هذا المقياس الدولي قابلاً للتطبيق فقط في المكونات فوق الأرضية لضواغط التحكم في الري في حالة نظام الري بالرش والري الدقيق (الرشاشات الصغيرة، الري بالتنقيط، ... إلخ.). وهو يقبل التطبيق على ضاغط التحكم الأساسي في الري، والذى من الممكن أن يتم تركيب مكونات التحكم في الري ومكونات التشغيل (الكهربية، والإلكترونية، والهيدروليكية) عليه، ولكنه لا يتعامل مع هذه المكونات الإضافية.
ISO 13457:2000 معدات الري الزراعي-المضخات الكيميائية الحاقنة التى تدار بدفع المياه	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد متطلبات الإنشاء والمتطلبات التشغيلية وطرق الاختبار بالنسبة لمضخات الحقن الكيميائي التى تدار بدفع المياهز ويتم استخدام هذه المضخات الحاقنة التى تدار بدفع المياه لحقن الكيماويات في نظم الري. وتشمل الكيماويات الأسمدة السائلة ومحاليل الأسمدة والكيماويات الزراعية الأخرى القابلة للذوبان مثل الأحماض، ومبيدات الحشرات الضارة، ومبيدات الحشائش الضارة.

تابع الجدول رقم (١,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ISO 13460:1998 معدات الري الزراعي-السنادات البلاستيكية لأنابيب الضغط المصنوعة من البولي إيثيلين.	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد الواص المطلوبة وطرق الاختبار بالنسبة للسنادات البلاستيكية لأجل التركيب على أنابيب الضغط المصنوعة من البولي إيثيلين والتى يتم استخدامها في نظم الري فوق السطحية وتحت السطحية.
ISO 15081:2005 معدات الري الزراعي-الرموز البيانية لنظم الري المضغوطة	يقوم هذا المقياس الدولي بوضع الرموز البيانية الأساسية المتفقة مع القواعد للاستخدام في الرسومات والأشكال البيانية التى تتعلق بتركيب نظم الري الزراعي المضغوطة.
ISO/TR 15155:2005 تسهيلات الاختبار لمعدات الري الزراعي	يعمل هذا التقرير الفني على توفير التوجيه حول تصميم، واختيار، وتركيب، واستخدام المعدات المطلوبة لوضع تسهيلات الاختبار الأساسية لأجل تقييم معدات الري. وغرضه توفير المعلومات الكافية للعمل على إكمال الإجراءات التفصيلية المحتواة في الأيزو ٩٢٦١، والأيزو ١٥٨٨٦، والأيزو ٧٧١٤، والأيزو ٩٦٣٥، والأيزو ٩٦٤٤، والأيزو ٩٩١١، والأيزو ٩٩٥٢، والأيزو ١٠٥٢٢ لأجل اختيار مكونات نظام الري الزراعي، وعلى وجه التحديد المنقطات، والرشاشات، والصمامات.
ISO 15873:2002 معدات الري الزراعي-تمييز حاقنات السوائل المضيفة بالضغط من نوع فنشوري	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد الإنشاء، والمتطلبات التشغيلية، وطرق الاختبار، وتمييز حاقنات السوائل المضيفة بالضغط من نوع فنشوري-لمكونات النظم المستخدمة لحقن الكيماويات، والتى تشمل الأسمدة السائلة، والمحاليل السائلة من الأسمدة القابلة للذوبان في المياه، والأحماض، والمواد الكاوية، ومبيدات الحشرات والحشائش، والإضافات السائلة الأخرى في نظم الري. ولا يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد الوسائل لمنع التدفق العكسي للسوائل المضافة لنظم إمداد المياه الصالحة للشرب، وتركب مثل هذه الوسائل قريباً من حاقن فنتوري الذي يتم تغطيته عن طريق قوانين حماية المياه.

الجدول رقم (٢,ب). مقاييس الري السطحي.

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ANSI/ASAE S289.2 FEB04 بطانات الترعة المصنوعة من الخرسانة المنزلقة	يقوم هذا المقياس بتوفير مقاييس ومواصفات تركيب بطانات الترع من نوع الخرسانة المنزلقة. ويكون المجال محدوداً بوضع الأبعاد القياسية لقطاعات الترعة التى لها شكل شبه منحرف. وسوف تقوم هذه القطاعات القياسية بمساعدة المصنعين على وضع المقاييس لمعدات الحفر والتبطين، وبالتالي تعمل على تقليل التكاليف وتضمن التحكم في الجودة. ويكون هذا المقياس مقتصراً على ترع الري التى لها اتساع عمق أقل من ١,٨م، وعمق كلي من القطاع المبطن بما لا يزيد عن ٢,١م.
ASAE EP408.2 MAR95 نظم إعادة استخدام الجريان السطحي للري السطحي	تعد هذه الممارسة الهندسية مرشداً للمهندسين، والفنيين، والمزارعين لأجل تصميم وتشغيل النظم التى تقوم بجمع الانسياب من الحقول المروية بالطرق السطحية لأجل الاستخدام اللاحق في نفس الحقول أو الحقول الأخرى.
ASAE EP419.1 FEB03 تقييم خطوط الري	إن الغرض من هذه الممارسة هو إقامة ووضع مقاييس خطوات العمل لأجل تقييم أداء خطوط الري المنفردة. مثل هذه التقييمات يجب أن تهدف إلى تحسين تصميم، وتشغيل، وإدارة نظم الري بالخطوط.
ISO 16149:2006 معدات الري الزراعي-أنابيب الضغط المنخفض فوق الأرضية المصنوعة من كلوريد البولي فينيل (PVC) المستخدمة للري السطحي-المواصفات وطرق الاختبار	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد متطلبات تصنيع الأنابيب غير البلاستيكية المصنوعة من كلوريد البولي فينيل (PVC)، والتى يتم استخدامها لإمداد وتوزيع مياه الري منخفضة الضغط من خلال البوابات. وهي تقبل التطبيق على تصنيع الأنابيب من مادة كلوريد البولي فينيل (PVC) التى تتراوح أقطارها بين ٥٠ و٣١٥ مم والتي تعمل عند ضغوط منخفضة والتى تكون معرضة لضوء الشمس.

الجدول رقم (٣,ب). مقاييس الري بالرش.

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ANSI/ASABE S395 MAR79 سلامة نظم الري الزراعي ذاتية الدفع بخرطوم السحب	يتم استخدام هذا المقياس لتحسين درجة السلامة الشخصية لمن يقوم بالتشغيل وغيرهم أثناء عملية الإضافة الطبيعية، وتشغيل، وخدمة نظم الري الزراعي ذاتية الدفع بخرطوم السحب.
ASABE S 398.1 JAN01 إجراء اختبار الرشاش ووضع تقارير الأداء	يتم استخدام هذا الإجراء فقط لتحديد نصف قطر إطلاق الرشاشات الفردية. ولا يتم القيام بمحاولة هنا لتحديد استخدام المنتج، أو التصميم، أو خطوات الإضافة، وللعمل على تحديد انتظامية التوزيع، أو انتظامية نصف قطر الإطلاق عبر منطقة التغطية.
ANSI/ASABE S436.1 DEC01 إجراء الاختبار لتحديد انتظامية توزيع المياه لماكينات الري بالمحور المركزيوالحركة الجاتنبية والتى يتم تجهيزها بفوهات رشاش	إن الغرض من هذا المقياس تحديد طريقة تمييز انتظامية توزيع مياه حزم الرش المركبة على المحاور المركزية وماكينات الري بالحركة الجانبية. وينتج هذا الاختبار المعلومات التى يتم استخدامها في حساب معامل الانتظامية، الذى يمكن أن يساعد في تصميم و/أو اختيار النظام، ويمكن استخدامه لتحديد جوانب معينة لأداء النظام في الحقل.
ISO 7749-1:1995 معدات الري الزراعي-الرشاشات الدوارة-الجزء١ : متطلبات التصميم والتشغيل	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو ٧٧٤٩ بتحديد متطلبات التصميم والمتطلبات التشغيلية للرشاشات الدوارة وفهات الرش بالنسبة لمعدات الري الزراعي وطرق الاختبار الخاصة بها. وهي تنطبق على الرشاشات التى يتم استخدامها للتركيب في شبكة خطوط الأنابيب لأجل الري والتشغيل عند الضغوط التى يوصي بها المصنّع.
ISO 8026:1995 Amd 1:2000 معدات الري الزراعي-الرشاشات-المتطلبات العامة وطرق الاختبار	يقوم هذا المقياس بتحديد المتطلبات العام وطرق الاختبار لأجل رشاشات الري. وهو ينطبق على الرشاشات التى يتم استخدامها للتركيب في شبكة خطوط الأنابيب لأجل الري والتشغيل مع مياه الري.

تابع الجدول رقم (٣,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ISO 8224-1:2003 ماكينات الري المتنقلة-الجزء١ : الخصائص التشغيلية وطرق الاختبار المعملية والميدانية	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو ٨٢٢٤ بتحديد الخصائص التشغيلية، وطرق الاختبار المعملية والميدانية، وماكينات الري المتنقلة. وهو يشمل (١) المعلومات الفنية التى تقوم بتوجيه المستخدم لكي يتم احتواؤها في كتيب المصنّع المصاحب للمنتج، و(٢) خطوات الاختبار المعملي لتقييم انتظامية إضافة المياه على خط مروي عن طريق تشغيل الماكينة داخل مدى محدود من الظروف ولأجل تحديد معدلات النقل القصوى فإن آلية الدفع تكون قادرة على تحقيق هذا استجابة لظروف التشغيل المحدودة، و(٣) خطوات الاختبار الميداني لتحديد انتظامية إضافة المياه في حقل مروي محدد في ظل الظروف المحلية السائدة في الحقل وقت الاختبار. وهو يقبل التطبيق فقط على ماكينات الري المتنقلة وليس الأنواع الأخرى من ماكينات الري مثل ماكينات الري بالمحور المركزي والحركة الجانبية.
ISO 8224-1991 ماكينات الري المتنقلة-الجزء٢ : القارنات والخراطيم لينة الجدار- طرق الاختبار	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو ٨٢٢٤ بتحديد طرق الاختبار للخواص الفيزيائية المحددة واختبارات المتانة المتسارعة لقارنات وخراطيم الري لينة الجدار التى يتم استخدامها مع ماكينات الري. وهو ينطبق على مثل هذه القارنات والخراطيم التى يتم استخدامها مع ملف الخرطوم الثابت، والخرطوم المتنقل، وملف الخرطوم المتنقل، وماكينات الري المتنقلة بخرطوم السحب التى يتم استخدامها في الزراعة والجراحة.
ISO 11545:2001 معدات الري الزراعي-ماكينات الري المحوري والحركة الجانبية التى تعمل بفوهات الرشاشات- تحديد انتظامية توزيع المياه	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد الطرق لتحديد انتظامية توزيع المياه في الحقل من ماكينات الري بالمحور المركزي أو الحركة الجانبية المجهزة برشاش أو فوهات رش. ولا يقبل هذا المقياس الدولي التطبيق لتقييم ماكينات الري بالمحور المركزي المجهزة بأجهزة إضافة متنوعة بذراع عند الركن.

تابع الجدول رقم (٣,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ISO 12374:1995 الري الزراعي–وضع الأسلاك والمعدات لأجل الدفع الكهربي أو ماكينات الري المتحكم بها	يقوم هذا المقياس الدولي بتوفير المعلومات التفصيلية حول الإضافة من الأجهزة الكهربية إلى ماكينات الري الزراعي التي تدار كهربياً أو ماكينات الري الزراعي المتحكم بها، والتي تغطي كل المعدات الكهربية، والأجهزة، والمكونات، والأسلاك الضرورية من نقطة الاتصال بالطاقة الكهربية إلى الماكينة.
ISO 15886-1:2004 معدات الري الزراعي– الرشاشات–الجزء ١: تعريف المصطلحات والتصنيف	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو ١٥٨٨٦ بتعريف المصطلحات المستخدمة في العلاقة بالرشاشات المستخدمة للري الزراعي وتوفير الوسائل لتصنيف هذه الرشاشات وفقاً للعوامل الفيزيائية، وخصائص رش المياه، وآلية تشغيل وتوزيع المياه، والاقتراب من السدادات، والاستخدام المقصود، والعوامل الإضافية المحتواة في الرشاش. ومجاله واسع بشكل متعمد لتغطية أوسع مدى ممكن لإنشاء الرشاش، والأداء، وبدائل الاستخدام.
ISO 15886-3:2004 معدات الري الزراعي– الرشاشات–الجزء ٣: تمييز التوزيع وطرق الاختبار	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو ١٥٨٨٦ بتحديد الشروط والطرق المستخدمة لاختبار وتمييز أنماط توزيع المياه من الرشاشات المستخدمة للري الزراعي. وهو يتعامل مع كل الاختبارات في الأماكن المغلقة والأماكن المفتوحة، واختبارات الشبكة القطرية والكاملة ويتم إعداده أولاً للتعامل مع الشروط المشتركة في الاختبارات ثم التعامل مع هذه الشروط المتفردة بالاختبارات في الأماكن المفتوحة، على الترتيب. ومصطلح الرشاش يتم استخدامه هنا بالمعنى الموسع الشامل كما يعرّفه الأيزو ١٥٨٨٦–١، بقصد تغطية التنوع الواسع من المنتجات المصنفة في الأيزو ١٥٨٨٦–١. وتشمل المقاييس الأداء المحددة المذكورة في هذا الجزء من الأيزو ١٥٨٨٦ انتظامية التوزيع، ونصف القطر المبلل، وارتفاع نفث المياه: وهو يقبل التطبيق على كل أنواع الري بالرش والتي تكون فيها انتظامية الإضافة، ونصف القطر المبلل، وتقييم ارتفاع مسار نفث المياه مطلوب لأهداف التصميم، كما يحددها المصنّع.

الجدول رقم (٤,ب). مقاييس الري الدقيق.

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ASABE EP405.1 FEB03 تصميم وتركيب نظم الري الدقيق	الغرض من هذه الممارسة الهندسية وضع أقل قدر من التوصيات لأجل تصميم، وتركيب، وأداء نظم الري الدقيق: والتي تشمل نظم الري بالرش، والتنقيط، والري تحت السطحي، والري بنظام الدفق. وتعد تجهيزات هذه الممارسة الهندسية هي في الأساس تلك التى تؤثر على كفاية وانتظامية إضافة المياه، ومتطلبات التسرب، ومعالجة المياه، وتحسينات المياه.
ASABE S435 FEB04 الأنابيب المصنوعة من البولي إيثيلين للخطوط الفرعية للري الدقيق	يغطي هذا المقياس متطلبات وطرق اختبار الأنابيب المصنوعة من البولي إيثيلين (PE) والتى يتم تصنيعها بأبعاد قياسية لأجل الري بالتنقيط. ومما هو محتوى معايير تصنيف الأنابيب البلاستيكية المصنوعة من البولي إيثيلين (PE) وأنابيب البولي إيثيلين (PE)، ونظام كتيب لوائح استخدام الأنابيب البلاستيك من البولي إيثيلين (PE)، ومتطلباتها وطرق اختبار المواد، وقوى العمالة، والأبعاد، والضغط المستدام، والضغط المتولد، ومقاومة التصدع بالضغط البيئي. وهناك اشتمال كذلك لطرق التمييز.
ANSI/ASAE S539 FEB03 المرشحات الوسطية للري- الاختبار ووضع تقارير الأداء	يقوم هذا المقياس بتحديد خطوات العمل للقيام بجمع معلومات اختبار المرشح الوسطي وتوفير خطوات العمل لتصنيف وتمييز معلومات اختبار المرشح الوسطي من المصنفين ومختبرات الاختبار المستقلة. وهو يقوم بوضع الأساس الثابت لقياس صلاحية ولدعم بيانات المصنعين حول الأداء، والثقة، والسلامة، وفعالية المدى الطويل لنظم تسرب وسط الري المنفرد. ويجب أن يتم القيام بتطوير معلومات كافية بحيث يمكن لمصممي نظم الري وغيرهم تقييم ملاءمة نظام فلتر بعينه بالنسبة لتطبيق محدد.

تابع الجدول رقم (٤,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ANSI/ASABE S553 MAR01 خرطوم الرش القابل للانهيار (صنبور التنقيط)-المواصفات واختبار الأداء	يقوم هذا المقياس بتحديد طرق الاختبار، ومتطلبات الأداء، والمعلومات التي يراد الحصول عليها من قبل المصنّع فيما يتعلق بمنتجات خرطوم التنقيط القابل للانهيار مع وجود نقاط تنقيط منفصلة على امتداد أطوالها، والتي يُشار إليها بشكل عام باسم "صنبور التنقيط"، ويشار إليه هنا في هذه الوثيقة باسم "خرطوم التنقيط القابل للانهيار". ويتم تطبيق هذا المقياس على خراطيم التنقيط القابلة للانهيار التي يتم استخدامها للري والتي تكون المنقطات جزءًا متكاملاً منها أو دائمة التركيب فيها ولا ينطبق على الأنابيب المنفذة على امتداد طولها الكلي.
ISO 8779:2001 أنابيب البولي إيثيلين (PE) لخطوط الري الفرعية-المواصفات	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد طرق الاختبار والخواص المطلوبة للأنابيب المصنوعة من البولي إيثيلين (PE)، والتي يتم استخدامها في خطوط الري الفرعية. ويمكن تطبيق هذا المقياس على الأنابيب التي يتم تصنيفها تحت أسماء PE32، وPE40، وPE63 بما يتوافق مع مقياس الأيزو ١٢١٦٢ : ١٩٩٥، والتي يكون لها ضغط اسمي قدره PN2، و5، وPN4، وPN6، وPN10، وقطر اسمي خارجي قدره من ١٢ إلى ٣٢ مم حصري ويتم استخدامه لنقل المياه تحت ضغط عند درجات حرارة تصل إلى حتى ما يتلاءم مع أغراض الري.
ISO 8796:2004 أنابيب البولي إيثيلين PE32,PE40 ولخطوط الري الفرعية-التعرض للتصدع بالضغط بسبب تجهيزات الإدخال-طريقة لاختبار تجهيزات	يقوم هذا المقياس بتحديد طريقة لحساب التعرض إلى التصدع بالضغط البيئي لأنابيب البولي إيثيلين التي يتم استخدامها مع تجهيزات الإدخال. وهو يقبل التطبيق مع الأنابيب التي تتوافق مع المقياس الأيزو ٨٧٧٩، والتي يتم تصنيعها من المواد PE32، وPE40 والتي يتم استخدامها مع تجهيزات الإدخال.

تابع الجدول رقم (٤,ب).

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ISO 9261:2004 معدات الري الزراعي-المنقطات وأنابيب التنقيط-الوصف وطرق الاختبار	يقوم هذا المقياس الدولي بتحديد المتطلبات الميكانيكية والوظيفية لمنقطات الري الزراعي وأنابيب التنقيط، وحيثما يكون ممكن التطبيق، التجهيزات الخاصة بها، ويعمل على توفير الطرق للاختبار بما يتوافق مع مثل هذه المتطلبات. وهو يقبل التطبيق على المنقطات، وأنابيب الرش والتنقيط، والخراطيم، التى تشتمل على الخراطيم القابلة للانهيار، والأنابيب التى تكون المنقطات فيها جزءًا متكاملاً، والمنقطات ووحدات التنقيط مع وبدون منظم الضغط ومع معدلات التدفق التى لا تتجاوز ٢٤ لتر/ساعة لكل مخرج (ما عدا أثناء التدفق)، ومع التجهيزات المخصصة لربط أنابيب التنقيط، والخراطيم، والأنابيب. وهو لا يقبل التطبيق على الأنابيب المنفذة (التى تكون منفذة على امتداد طولها)، ولا تغطي أداء الأنابيب فيما يتعلق بالانسداد.
ISO 9912:2004 معدات الري الزراعي-مرشحات الري الدقيق-الجزء ١: المصطلحات، والتعريفات، والتصنيف	يقوم هذا الجزء من مقياس الأيزو ٩٩١٢ بتحديد المصطلحات المستخدمة فيما يتعلق بالمرشحات التي يتم استخدامها في نظم الري الدقيق الزراعية -وبوجه خاص، النظم المضغوطة- والتي تعمل على توفير الوسائل لتصنيف هذه المرشحات وفقاً لطريقة التسرب، والتركيب، ومبدأ التشغيل، والوظيفة. وهو لا يتعامل مع التصنيف طبقاً لنوع المياه التي يراد أن يتم تسريبها، ولا يتطابق مع تصنيف المرشحات لاستخدام المياه الصالحة للشرب أو المياه المنزلية.

الجدول رقم (٥,ب). مقاييس الصرف المستخدمة مع نظم الري.

الرقم والعنوان	الوصف أو المجال
ANSI/ASABE EP302.4 FEB03 تصميم وإنشاء نظم الصرف السطحية في الأراضي الزراعية بالمناطق الرطبة	يتم استخدام هذه الممارسة الهندسية لتحسين تصميم، وإنشاء، وصيانة نظم الصرف السطحية التى يتم قبولها للعمل على تحديث الميكنة الزراعية.
ASABE EP 369.1 DEC87 تصميم محطات ضخ الصرف الزراعي	تقوم هذه الممارسة الهندسية بشكل مسبق بوضع المبادئ والممارسات المفيدة للمهندسين في مجال تخطيط وتصميم محطات الضخ لأجل تصريف الأراضي الزراعية. وليس من المقصور أن تمثل المواصفات الكاملة ولا تشمل محطات الضخ لصرف البئر العميق.
ASABE EP407.1 FEB03 مخارج الصرف الزراعي-القنوات المفتوحة	الغرض من هذه الممارسة الهندية العمل على توفير معلومات التخطيط، والتصميم، والإنشاء، والصيانة، ومعايير مخارج الصرف الزراعي عن طريق وسائل القنوات المفتوحة. وتتوافق هذه الممارسة الهندسية مع الممارسة الهندسية EP302.3 الخاصة بمنظمة ASABE، لتصميم وإنشاء نظم الصرف السطحية في الأراضي الزراعية بالمناطق الرطبة، والممارسة الهندسية EP260، لتصميم وإنشاء المصارف تحت السطحية في المناطق الرطبة.
ASABE EP479 FEB03 تصميم، وإنشاء، وصيانة المصارف تحت السطحية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة	يتم استخدام هذه الممارسة الهندسية كمرشد للمهندسين في مجال تصميم وإنشاء المصارف تحت السطحية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة حيث يتم استخدام الري في الغالب لتوفير المياه الكافية للمحاصيل. ويجب أن تكون هذه الممارسة الهندسية متوافقة مع الممارسة الهندسية ASABE EP260.4، الخاصة بمنظمة ASABE، لتصميم وتشغيل المصارف تحت السطحية في المناطق الرطبة.
ASABE EP479 MAR90 تصميم، وتركيب، وتشغيل نظم إدارة منسوب المياه للري تحت السطحي/الصرف المتحكم به في المناطق الرطبة	يتم استخدام هذه الممارسة الهندسية كمرشد لتصميم، وتركيب، وتشغيل نظام أنابيب الصرف تحت السطحية، وأبنية التحكم في الضاغط، ومرافق نقل المياه والتى يكون غرضها الإدارة الفعالة لسطح المياه الحر في التربة في الري تحت السطحي والصرف. وتكون هذه الممارسة الهندسية محدودة بالنظم التى تستخدم المصارف للتأثير على الصرف وإمداد المياه تحت السطحية.

(٤,ب) المراجع

ASAE. 2005. ASAE Standards 2005. 52nd ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Dedrick, A. R. 1982. Progress through standards: Its dynamic future, national and international. ASAE Paper No. 82-5544. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Dedrick, A. R. 1986. International standards for irrigation and drainage equipment: Why develop them. ASAE Paper No. 86-5525. St. Joseph, Mich.: ASAE.

IA (The Irrigation Association). 2005. The Irrigation Association 2005-2006 Membership Directory and Buyer's Guide. Fairfax, Va.: IA.

Penkava, F F. 1986. New developments in international standards. The Irrigation Association's Irrigation News X(4): 3-5.

Solomon, K. H., and A. R. Dedrick. 1995. Standards development for microirrigation. In Proc. of the 5th Int'l Microirrigation Congress. Published as CATI publ. #950601. Available at: www.wateright.org/950601.asp.

Solomon, K. H., and A. R. Dedrick. 2001. Standards benefit developing irrigation markets. Agric. Mechanization in Asia, Africa and Latin America 32(2): 48-54.

Stetson, 1. E. 1982. Setting the standards. Agric. Eng. 63(5): 12-13.

كشاف الموضوعات

أ

ب

ت

ش

ص

ض

ط

ظ

ع

ق

ك

ن

هـ

و

نبذة عن المترجمين

الأستاذ الدكتور عبدالرحمن علي العذبة، أستاذ هندسة نظم المياه والري - قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة - جامعة الملك سعود، الرياض
http://faculty.ksu.edu.sa/alazba

- من مواليد ١٣٨١هـ بقرية آل ماشي، محافظة أحدرفيدة، منطقة عسير. التحق عام ١٤٠٠هـ، بجامعة الملك سعود، كلية علوم الأغذية والزراعة، قسم الهندسة الزراعية، وبعد التخرج عين معيدا بالقسم في جمادى الأولى عام ١٤٠٥هـ (١٩٨٥م).
- ابتعث إلى الولايات المتحدة الامريكية للحصول على الماجستير والدكتوراة، حيث أكمل مرحلة اللغة الإنجليزية بجامعة ولاية أوهايو، كولومبس، أوهايو، ١٤٠٧هـ (١٩٨٧م).
- حصل على الماجستير في الهندسة الزراعية من قسم الهندسة الزراعية والكيميائية بكلية الهندسة، جامعة ولاية كولورادو، ١٤١٠هـ (١٩٨٩م).
- حصل على الدكتوراه في هندسة الري، تخصص رئيس، ومصادر المياه (ادارة وهيدروليكا)، تخصص رديف من قسم هندسة الموارد الطبيعية والزراعية بكلية الهندسة والمعادن، جامعة اريزونا، ١٤١٤ هـ (١٩٩٤م).
- اهتماماته البحثية في مجال المياه والري مرتبطة بتقدير الطلب على مياه الري في المملكة، وتحسين طرق تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل، وإدارة مياه الري، وترشيد المياه ورفع كفاءة استخدامها في الري على النحو الأمثل، وحصاد المياه واستغلال مياه الأمطار في الري، والري الناقص وتطبيقاته في المملكة. نشر العديد من الأبحاث في النمذجة والبرمجة، والأمثلية واستخدام نظم المعلومات الجغرافية، ونظم القرار المساند.
- أستاذ هندسة نظم المياه والري والمشرف على كرسي الشيخ محمد بن حسين العمودي لأبحاث المياه، وترأس قسم الهندسة الزراعية بجامعة الملك سعود، وشارك في عضوية كثير من اللجان، ومنها اللجنة الوطنية لترشيد مياه الري، وخبير إيفاد الداخلي في مشروع تطوير سهول تهامة ومناطق جازان لدراسة المياه وشبكات الري، وشارك في اللجنة السعودية - اليابانية لدراسة الموت القمي في منطقة عسير (مجموعة المياه والأرصاد المناخية)، وعضو اللجنة الفرعية للمياه والري بالغرفة التجارية بالرياض، عضو فريق دراسة وضع الري في المملكة العربية السعودية، وعضو مبادرة ترشيد استخدام المياه في الري بصندوق التنمية الزراعية.
- عضو جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية، وجمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية، وجمعية المهندسين الزراعيين الآسيوية، والجمعية السعودية للعلوم الزراعية، وعضو مؤسس في جامعة أهلية، وعضو مؤسس في جمعية القمح السعودية، وعضو في جمعية حماية المستهلك. وعضو اللجنة العليا الإشرافية للبوابة الإلكترونية بجامعة الملك سعود، ومستشار فريق تقنية المعلومات والبوابة الإلكترونية لكلية علوم الأغذية والزراعة.
- مستشار غير متفرغ بوزارة التعليم العالي ووكالة جامعة الملك سعود للشئون الأكاديمية، ومستشار متعاون مع شركات زراعية لترشيد المياه والطاقة ونشر ثقافة وتطبيق إدارة مياه الري في المملكة العربية السعودية.
- عضو فريق المبادرة الثانية لترشيد المياه بصندوق التنمية الزراعية.
- خبير غير متفرغ بمركز أبحاث النخيل والتمور بالأحساء.
- أشرف على رسائل ماجستير وممتحن خارجي لرسائل الدكتوراه.
- ألف كتاب ميكانيكا الموائع التطبيقية، وترجم مع آخرين كتاب تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"، ومترجم كتاب هندسة مصادر المياه.
- له محاولات جادة في تفعيل وتطبيق إدارة المياه والري في المملكة، ومن خلال تجاربه في ذلك تبين أن التحدي كبير ويحتاج إلى بذل الكثير من الجهد والتضحية.

د. محمد نبيل بهجت النسر

- أستاذ مساعد، هندسة نظم وإدارة المياه والري، كرسي الشيخ محمد العمودي لأبحاث المياه - جامعة الملك سعود - الرياض.
- ولد بالإسكندرية في مصر عام ١٣٩٣هـ (١٩٧٣م)، والتحق بقسم الهندسة الزراعية بجامعة الإسكندرية عام ١٩٩٠ حيث تخرج عام ١٩٩٤ بتقدير ممتاز مع مرتبة الشرف.
- حصل على الماجستير عام ١٩٩٩ من جامعة الإسكندرية برسالة عنوانها "تصميم وتخطيط نظم الري بالتنقيط بمساعدة الحاسب الآلي". ثم حصل على الدكتوراه من نفس الجامعة عام ٢٠٠٦ برسالة عنوانها "تطوير نظام الري بالتنقيط تحت السطحي ونمذجة توزيع الرطوبة".
- تدرج في الوظائف البحثية في مركز بحوث الصحراء بالقاهرة من درجة معيد عام ١٩٩٥ حتى درجة باحث عام ٢٠٠٧، اشترك خلالها في عدد من الأبحاث والمشروعات البحثية المتعلقة باهتمامات قسم صيانة الأراضي والمياه مثل الأبحاث المتعلقة بانجراف التربة الزراعية بالمياه وبالرياح واستخدام محسنات التربة لزيادة إمساكها بالمياه.
- عمل لمدة عامين كمبرمج كمبيوتر وقواعد بيانات متفرغ في مشروع بحثي بجامعة الملك سعود عنوانه "تصميم برنامج حاسوبي متكامل لزراعة محاصيل الخضر في المملكة العربية السعودية.
- له اهتمامات واسعة بالرياضيات وعلوم الحاسب الآلي والبرمجة خاصة تصميم برمجيات النمذجة وقواعد البيانات بما يخدم مجال التخصص والمجالات المرتبطة، يقوم بالبرمجة بعدد من اللغات منها جافا وفيجوال بيسك في بيئة دوت نت.
- تتمحور أبحاثه واهتماماته البحثية حول الاستفادة بالقدرات الرياضية والحسابية للكمبيوتر ولغات البرمجة في تطوير وتحسين العلاقات الرياضية الواصفة لعلاقات النبات - الماء - التربة - المناخ. مما يؤدي للتنبؤ الدقيق بسبل إدارة المياه في البيئة الزراعية مما يحقق أعلى وأفضل إنتاجية مع أقل كمية مياه ممكنة.
- اشترك في العديد من الدورات التدريبية لصغار المزارعين بهدف تدريبهم على سبل إدارة المياه والتعامل مع نظم الري الحديثة. كما قام بتدريس بعض المقررات في جامعة الملك سعود لطلاب مرحلة البكالوريوس.
- قام بنشر عدد من الأبحاث في مجالات تطوير وتحسين نظم الري؛ وتوصيف ونمذجة حركة الماء في التربة والأوساط المسامية؛ وتتبع حركة المناخ والتنبؤ بتأثيره على المستقبل المائي؛ والاحتياجات المائية للمحاصيل.